

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

ENERGETICKÝ POTENCIÁL VODY V CHOVNÝCH NÁDRŽÍCH

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DOMINIK SCHITTENHELM

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

ENERGETICKÝ POTENCIÁL VODY V CHOVNÝCH NÁDRŽÍCH

WATER ENERGY POTENTIAL IN BREEDING TANKS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

DOMINIK SCHITTENHELM

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN MORÁVEK

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Dominik Schittenhelm

ID: 146951

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Energetický potenciál vody v chovných nádržích

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Zpracování teoretického úvodu k problematice využití vodní energie v chovných nádržích.
2. Posouzení využitelnosti energetického potenciálu v zadané lokalitě.
3. Návrh a výpočet parametrů mikrozdroje pro využití energetického potenciálu vody.
4. Ekonomické zhodnocení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 30.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Jan Morávek

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca je rozdelená na niekoľko častí. Prvá časť sa zaoberá teóriou vodných elektrární a vodných turbín použiteľných pri malých zdrojoch elektrickej energie. Druhá časť je zameraná na návrh malého mikrozdvoja v rýbárstve Bělídlo počínajúc výpočtom prietokov z odmeraných požadovaných veličín. Ďalej popisuje samotný návrh Bánkiho turbíny s výberom vhodného generátora a prevodovky. V poslednej časti sa práca zaoberá vyčíslením predpokladaných nákladov na zhotovenie, odhadom výroby elektrickej energie a takisto výpočtom predpokladanej doby návratnosti.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

malá vodná elektrárňa, vodná energia, Bánkiho turbína, generátor, návrh MVE

ABSTRACT

The thesis is divided in several parts. The first part is theoretical and its main focus is the description of hydroenergy and the theory regarding water turbines and their potential use in small hydro powerplants. The second part describes micro hydroelectric power plant design in fishery Bělídlo. It begins with calculation of the waterflow rate based on the performed measurements. The thesis further describes the actual design of Banki turbine with generator and gear unit selection. The last part of the work deals with estimating construction costs and production of electricity and also of awaiting investment return time.

KEYWORDS

small hydroelectric power plant, hydropower, Banki turbine, generator, project of the SHP

SCHITTENHELM, Dominik *Energetický potenciál vody v chovných nádržích*: bakalárska práca. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2014. 59 s. Vedúci práce bol Ing. Jan Morávek

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu na tému „Energetický potenciál vody v chovných nádržích“ vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., o autorskom práve, o právach súvisiacich s autorským právom a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia druhej časti, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu práce Ing. Jánovi Morávkovi za poskytnutie tejto témy, za odborné vedenie, konzultácie a podnetné návrhy k práci.

Ďalej by som rád poďakoval Ing. Daliborovi Červinkovi, Ph.D., za odborné rady a podnety a Ing. Liborovi Šímovi za umožnenie merania a realizáciu v rybárstve Bělídlo.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	13
1 VODNÉ ELEKTRÁRNE	14
1.1 Výhody vodných elektrární	14
1.2 Využitie energie vodných tokov v ČR a SR	14
1.3 Energia vodného toku	14
1.3.1 Odvodenie teoretického výkonu	15
1.3.2 Skutočný výkon	16
1.4 Vodné diela	17
1.5 Malé vodné elektrárne	17
1.5.1 Teória malých vodných elektrární a mikrozdrojov	17
1.5.2 Druhy prevádzky MVE	18
1.5.3 Zloženie minielektrárne a mikrozdroja	19
2 VODNÉ MOTORY PRE MIKROELEKTRÁRNE	20
2.1 Vodné kolesá	20
2.2 Vodné turbíny	21
2.2.1 Základné časti turbín	22
2.2.2 Stručné rozdelenie turbín	22
2.2.3 Pretlakové turbíny	22
2.2.4 Rovnotlakové turbíny	23
2.2.5 Bánkiho turbína	23
2.2.6 Návrh Bánkiho turbíny	25
2.2.7 Turbína Setur	28
2.2.8 Archimedova skrutka	30
3 ELEKTRICKÁ ČASŤ MIKROELEKTRÁRNÍ	32
3.1 Komutátorové stroje	32
3.1.1 Konštrukcia jednosmerných strojov	32
3.1.2 Princíp činnosti dynama	32
4 OBJEKT REALIZÁCIE	34
4.1 Určenie prietoku a spádu	36
4.1.1 Zakreslenie výtokov a určenie prietoku	36
4.2 Návrh turbíny na zvolený výtok	41
4.2.1 Navrhnutá Bánkiho turbína pre jednotlivé výtoky	43
4.2.2 Konštrukcia Bánkiho turbíny	44
4.3 Výber generátora	48

4.3.1	Návrh prevodovky	49
4.4	Výpočet prierezu vodiča	51
4.5	Energetický potenciál posledného výtoku	52
5	KALKULÁCIE NÁVRATNOSTI	54
5.1	Náklady na zhotovenie turbíny	54
5.2	Finančná návratnosť investície	55
6	Záver	57
	Literatúra	58

ZOZNAM OBRÁZKOV

1.1	Tlakový spád vodného toku podľa [1]	15
1.2	Rozdelenie MVE podľa výkonu podľa [12]	18
2.1	Delenie podľa typu prívodu vody[14]	20
2.2	Priebeh účinností pri rozličnom zaplnení podľa [8]	24
2.3	Kompletné riešenie Bánkiho turbíny podľa [8]	25
2.4	Graf určenia pomeru L/D v závislosti na spáde H podľa [7]	25
2.5	Rozmery rúrky pre výrez lopatky podľa [7]	27
2.6	Schematické znázornenie turbíny Setur podľa [7]	29
2.7	Schematické znázornenie Archimedovej skrutky podľa [16]	30
4.1	Príklad výtoku odpadovej vody	34
4.2	Schematické znázornenie areálu	35
4.3	Zakreslenie výtoku 1	36
4.4	Výpočet výtokovej rýchlosti	38
4.5	Zakreslenie výtoku 2	38
4.6	Zakreslenie výtoku 3	39
4.7	Zakreslenie výtoku 4	39
4.8	Zakreslenie výtoku 5	40
4.9	Rúrka na lopatku	44
4.10	Lopatka na turbínu	45
4.11	Lopatky pripevnené na bočnú stenu obežného kola	45
4.12	Obežné kolo	46
4.13	Zúženie prietoku medzikusom	47
4.14	Znázornenie uchytenia turbíny	47
4.15	DC P2X [20]	49

ZOZNAM TABULIEK

2.1	Tabuľka sériovo vyrábaných turbín Setur podľa [7]	30
4.1	Tabuľka získaných prietokov a prierezov	40
4.2	Tabuľka rozmerov pre jednotlivé turbíny	43
4.3	Parametre P2X	48
4.4	Vybrané hodnoty turbíny a generátora	49
4.5	Vybrané remenice	49
4.6	Parametre remeníc	50
4.7	Výsledný návrh prevodovky	51
4.8	Tabuľka rozmerov turbíny pre modifikovaný výtok 5	53
5.1	Cenová kalkulácia materiálu	54
5.2	Cenová kalkulácia prác	54
5.3	Prehľad ročných príjmov	55

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

Značka	Veličina	Jednotky
a	Plocha prúdu	m^2
A	Minimálna osová rozteč	mm
A_{si}	Aktuálny stav investície	Kč
c_1	Rýchlosť pritekajúcej vody	$m \cdot s^{-1}$
d	Vonkajší priemer remenice	mm
d_2	Vnútorňý priemer	mm
d_h	Približný priemer hriadeľa	mm
d_x	Účinný priemer remenice	mm
D	Priemer obežného kolesa	mm
DN	Polomer rúrky	mm
E	Energia	J
E_h	Polohová energia	J
E_p	Tlaková energia	J
E_r	Priemerná ročná výroba	J
E_v	Kinetická energia	J
g	Tiažové zrýchlenie	$m \cdot s^{-1}$
h	Rozdiel hladín pri výtoky	m
h_a	Statická výška hladiny	m
H	Spád	m
i	Prevod	-
i	Výnosnosť investície	%
I_z	Dovolené zataženie vodiča	A
I_n	Menovité prúdové zataženie	A
k	Prepočítavací činiteľ	-
k_{ld}	Pomer L/D	-
k_{ostr}	Súčiniteľ ostreku	-
K_i	Investičné náklady	Kč
l	Dĺžka vodiča	mm
l	Dĺžka remeňa	mm
L	Šírka obežného kolesa	mm
L_1	Šírka vodného prúdu	mm
L_2	Šírka lopatky	mm
L_{tr}	Dĺžka rúrky na lopatky	mm

Značka	Veličina	Jednotky
m	Hmotnosť	kg
n	Menovité otáčky turbíny	$ot \cdot min^{-1}$
n_1	Otáčky na hriadeli turbíny	$ot \cdot min^{-1}$
n_2	Otáčky na hriadeli generátora	$ot \cdot min^{-1}$
N_p	Prevádzkové náklady	Kč
p	Tlak	Pa
P	Príjem	Kč
P	Výkon	W
P_A	Aktuálny príjem	Kč
P_B	Výpočtový výkon pre remenicu	W
P_{ef}	Efektívny výkon stroja	W
P_i	Predbežný výkon	W
P_v	Vypočítaný výkon turbíny pre jednotlivé výtoky	W
Q	Prietok	$m^3 \cdot s^{-1}$
Q_n	Menovitý prietok	$m^3 \cdot s^{-1}$
Q_v	Prietok z výtokovej rúrky	$l \cdot s^{-1}$
r	Polomer výtokovej rúrky	mm
R	Odpor vodiča	Ω
s	Hrúbka vodného prúdu	mm
$S_{zč}$	Obsah zaplnenej časti rúrky	mm^2
S	Prierez vodiča	mm^2
S_G	Výsledný prepočítavací faktor	-
S	Prepočítavací faktor	-
t	Čas	s
tl	Hrúbka steny rúrky	mm
T_r	Cena ušetrenej energie	Kč
U	Napätie	V
ΔU	Úbytok napätia	V
$\Delta U_{\%}$	Úbytok napätia v %	%
v	Rýchlosť	$m \cdot s^{-2}$
v_x	Rýchlosť v smere osi x	$m \cdot s^{-2}$
v_y	Rýchlosť v smere osi y	$m \cdot s^{-2}$
VT_x	Vzdialenosť dopadu prúdu vody v ose x	m
VT_y	Výška z ktorej vyteká prúd vody	m
VT_z	Vzdialenosť od začiatku po koniec výtoky	m
W	Vyrobená energia	Wh

Značka	Veličina	Jednotky
x	Polovica šírky zaplnenej časti výtokovej rúrky	mm
y	Vzdialenosť od hladiny zaplnenej časti po stred	mm
z_e	Počet zubov v zábere na remenici	-
z_k	Počet zubov remenice	-
η	Účinnosť	-
η_c	Celková účinnosť	-
η_g	Účinnosť generátora	-
η_h	Hydraulické straty	-
η_m	Mechanická účinnosť	-
η_p	Prevodové straty	-
η_t	Účinnosť vodnej turbíny	-
η_{tr}	Účinnosť transformátora	-
η_v	Objemové straty	-
ρ	Hustota	$kg \cdot m^{-3}$
ρ	Špecifický odpor	$\Omega \cdot mm^2 \cdot m^{-1}$
α	Výtokový uhol	o
β	Vtokový uhol obežných lopatiek	o
δ	Polomer krivosti obežných lopatiek	mm
γ	Pomocný uhol pri výpočte obsahu	o
ψ	Uhol, ktorý zvierá výt. rúrka a kolmica na hladinu	o
MVE	Malá vodná elektráreň	
NPV	Z ang. <i>Net present value</i> - Čistá súčasná hodnota	
SHP	Z ang. Small Hydropower	

ÚVOD

Elektrická energia je v terajšej dobe už neoddeliteľnou súčasťou každodenného života ľudí. V dnešnej dobe je najviac rozšírená výroba elektrickej energie z fosílnych palív, medzi ktoré patrí napríklad uhlie, ropa a zemný plyn. Avšak čoraz viac sa spomína ich vplyv na životné prostredie alebo aj fakt, že ich množstvo je na zemi limitované, čo znamená, že o pár rokov už nebude dostatok fosílnych palív pre výrobu elektrickej energie v tepelných elektrárňach. Kvôli tomuto štáty prešli na alternatívne spôsoby výroby elektrickej energie, ako sú napríklad jadrové elektrárne. Ale aj u tohto typu sa naráža na fakt, že urán ako taký, je vyčerpateľný zdroj. Vedci síce vyvíjajú rôzne typy reaktorov, aby sa tým zvýšila efektivita výroby, avšak viditeľné výsledky sa môžu očakávať až v priebehu niekoľkých desaťročí.

Ludstvo sa čoraz viac začalo otáčať smerom k obnoviteľným zdrojom energie, ako je energia vody, slnka, biomasy a vetra. Tieto zdroje sa takisto dajú zaradiť do kategórie ekologických. Medzi najrozšírejšie patrí využívanie energie vody, ktoré siaha do 3. storočia p.n.l., kedy ľudstvo začalo efektívne využívať energiu vody na vodných kolesách ktoré poháňali mlynské stroje. Hlavnou výhodou výroby elektrickej energie vo vodných elektrárňach je, že výroba nespôsobuje emisie, ktoré sú vypúšťané do ovzdušia a je možné ju použiť presne v čase, kedy to je potrebné, napríklad v časoch špičiek.

Kvôli všetkým týmto výhodám sa vodné elektrárne dostávajú do stredobodu pozornosti, ale veľakrát je problém s umiestnením väčšieho vodného diela, keďže okrem rozlohy treba aj povolenie od ministerstva životného prostredia, ktoré sa v prípade rozľahlejších diel získava zložito. Preto sa veľmi rozširuje výstavba menších zdrojov na malých riekach alebo mikrozdrojov pre súkromné účely, ktoré nezasahujú do prírody vôbec alebo iba minimálne v prípade malých zdrojov.

1 VODNÉ ELEKTRÁRNE

1.1 Výhody vodných elektrární

Ak porovnáme elektráreň vodnú s elektrárnami jadrovými, resp. s takými, ktoré používajú fosílna palivá, zistíme veľa výhod už spomínaných vodných elektrární. Medzi tie najväčšie patrí:

- možnosť rýchleho a hospodárneho spustenia a odstavenia,
- jednoduchý technologický proces výroby s možnosťou úplnej automatizácie prevádzky,
- vysoká pohotovosť k výrobe pri nízkej poruchovosti,
- veľká účinnosť premeny mechanickej energie vodného toku na energiu elektrickú,
- neznečisťovanie okolia exhaláciami a odpadmi z výroby [1].

1.2 Využitie energie vodných tokov v ČR a SR

Česká republika nemá najlepšiu polohu z hľadiska využitia energetického potenciálu vodných tokov, pretože rieky tu majú svoje pramene a energia je rozložená v malých tokoch. Nepriaznivá okolnosť na využitie hydroenergetického potenciálu je to, že väčšina riek má kolísavý prietok a hlavne malé spády. Tento problém by sa však dal vyriešiť výstavbou akumulčných nádrží v ČR.

Najviac je energeticky využívaná rieka Vltava, na ktorej bola vystavaná kaskáda vodných elektrární, ktorá má inštalovaný výkon asi 750 MW. V susednom Slovensku je podobná kaskáda postavená na rieke Váh, ktorá má inštalovaný výkon 1515 MW. Okrem spomínaných elektrární na Vltavskej kaskáde sú v ČR ešte významné prečerpávacie elektrárne, ktoré majú inštalovaný výkon približne 1100 MW [1],[2].

Za rok 2012 všetky vodné elektrárne v ČR vyrobili 2963,1 GWh, čo bolo 3,38% celkovej vyrobenej elektrickej energie v ČR a pre obdobie január až jún 2013 bol podiel vodných elektrární na celkovej výrobe 5,15% [3],[4].

1.3 Energia vodného toku

Vodná energia sa prejavuje ako potenciálna polohová energia E_h , potenciálna tlaková energia E_p a kinetická energia E_v a platia nasledujúce vzťahy:

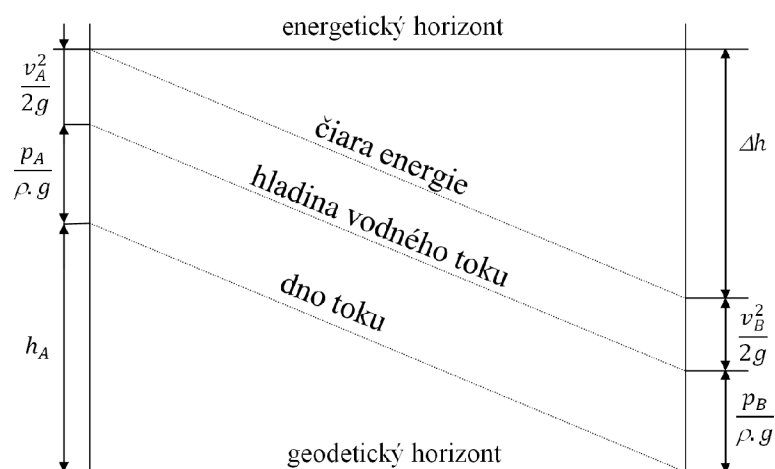
$$E_h = m \cdot g \cdot h \quad [J] \quad (1.1)$$

$$E_p = m \cdot \frac{p}{\rho} \quad [J] \quad (1.2)$$

$$E_v = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad [J] \quad (1.3)$$

kde E je energia, m je hmotnosť, g je gravitačné zrýchlenie, H je spád, p je tlak, ρ je hustota vody a v je rýchlosť vody.

1.3.1 Odvodenie teoretického výkonu



Obr. 1.1: Tlakový spád vodného toku podľa [1]

Podľa Bernoulliho rovnice bude energia vodného toku v bode A v pozorovanom úseku A-B nasledovná:

$$E_A = \left(h_A + \frac{p_A}{\rho \cdot g} + \frac{v_A^2}{2 \cdot g} \right) \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot t \quad [J] \quad (1.4)$$

Podobnú rovnicu môžeme dostať aj pre koniec pozorovaného úseku B

$$E_B = \left(\frac{p_B}{\rho \cdot g} + \frac{v_B^2}{2 \cdot g} \right) \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot t \quad [J] \quad (1.5)$$

Pre rozdiel energie E_A a E_B dostaneme

$$E_A - E_B = \left(h_A - \frac{p_A - p_B}{\rho \cdot g} + \frac{v_A^2 - v_B^2}{2 \cdot g} \right) \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot t \quad [J] \quad (1.6)$$

Členy, ktoré sú v zátvorke, vyznačujú zmenu jednotlivých druhov energie: zmena polohovej energie

$$h_A \equiv \Delta h_h$$

zmena tlakovej energie

$$\frac{p_A - p_B}{\rho \cdot g}$$

zmena kinetickej energie

$$\frac{v_A^2 - v_B^2}{2 \cdot g}$$

Súčet jednotlivých zmien označíme H a dostaneme výsledný vzťah pre Energiu:

$$E = H \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot t \quad [J] \quad (1.7)$$

Pre výkon vodného toku odvodeného z Bernouliho rovnice potom platí:

$$P = H \cdot \rho \cdot g \cdot Q \quad [W] \quad (1.8)$$

kde Q je prietok a H je hrubý spád.

1.3.2 Skutočný výkon

Keďže pri premene hydraulickéj energie na mechanickú vznikajú straty, nedostaneme z turbíny celý teoretický výkon. Výkon, ktorý získame na spojke motora, nazývame efektívnym výkonom stroja, ktorý sa značí P_{ef} a platí:

$$P_{ef} = \eta_t \cdot P \quad [W] \quad (1.9)$$

kde η_t je účinnosť vodnej turbíny a vyjadruje pomer skutočného výkonu turbíny na hriadeli a jej teoretického výkonu [5].

Ďalšie straty v turbíne spôsobuje trenie v ložiskách turbín a trenie vonkajších plôch obežného kola o vodu, ktorá ho obklopuje pri otáčaní. Zavedieme si teda súčiniteľ η_m , ktorý nazývame mechanická účinnosť. Celková účinnosť η_t je súčinom mechanických strát η_m , objemových strát η_v a hydraulických strát η_h

$$\eta_t = \eta_m \cdot \eta_v \cdot \eta_h \quad [-] \quad (1.10)$$

Turbína ďalej odovzdáva výkon generátoru, ktorý slúži na premenu mechanickej energie na elektrickú. Kvôli stratám má aj generátor účinnosť η_g , ktorá býva v rozmedzí 0,80 až 0,97. Ak nie je generátor na spoločnom hriadeli s turbínou, tak vďaka prevodu vznikajú straty prevodom $\eta_p=0,94-0,98$. Ak je hriadeľ spoločný pre turbínu aj generátor je $\eta_p=1$. Ako poslednú treba ešte započítať účinnosť transformátora η_{tr} . Po započítaní všetkých strát bude výsledný výkon rovný:

$$P = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_p \cdot \eta_{tr} \quad [W] \quad (1.11)$$

po medzikroku

$$\eta_c = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_p \cdot \eta_{tr} \quad [-] \quad (1.12)$$

dostaneme výsledný vzorec pre skutočný výkon, ktorý je :

$$P = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \cdot \eta_c \quad [W] \quad (1.13)$$

Po započítaní všetkých účinností môžu byť straty až 50 % [5],[6].

Celkový výkon vodnej elektrárne je teda súčet výkonov každého hydrogenerátora. A výroba vodnej elektrárne trvajúca t hodín pri výkone P bude:

$$E = P \cdot t \quad [J] \quad (1.14)$$

1.4 Vodné diela

Za vodné dielo označujeme všetky stavebné a strojové časti, ktoré sú potrebné k využitiu energie vody a jej následnej premeny na mechanickú prácu. Samotná premena energie vody sa však neodohráva na celom vodnom diele, ale iba vo vodnom motore, čo býva väčšinou turbína. V prípade menších výkonov to môže byť aj vodné koleso. Vodné dielo má energiu toku v čo najväčšej možnej miere zužitkovať a hlavne dopraviť k vodnému motoru potrebné množstvo neznečistenej vody. Keďže prietok nemôžeme považovať za konštantnú hodnotu, pretože silno závisí na poveternostných podmienkach, tak sa snažíme vodným dielom ovplyvňovať veľkosť spádu. Veľkosť spádu už za konštantnú hodnotu považovať môžeme, lebo je to hodnota, ktorá závisí na tvare terénu [7].

1.5 Malé vodné elektrárne

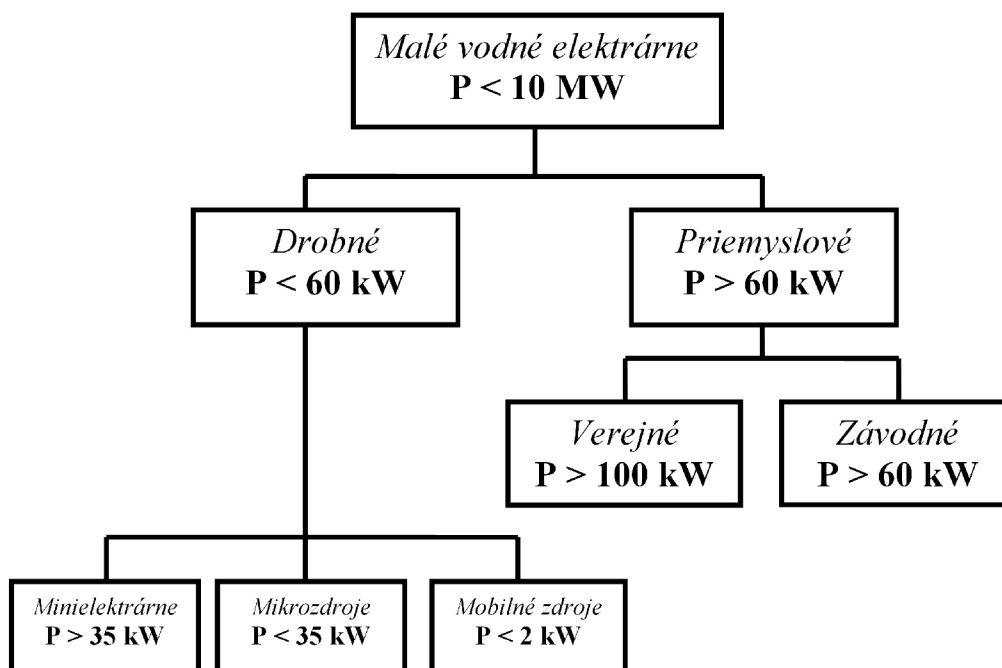
1.5.1 Teória malých vodných elektrární a mikrozdrojov

Malou vodnou elektrárnou môžeme označiť vodnú elektráreň, ktorej výkon nepresahuje hodnotu $P=10$ MW. Podľa niektorých štátov Európskej únie sa chápe MVE iba do výkonu 5 MW poprípade 3 MW. Tieto zdroje väčšinou využívajú hydroenergetický potenciál malých vodných tokov, kde najčastejšie pracujú v režime prietokových elektrární [1],[10].

Z celkového množstva vyrobenej elektrickej energie vodnými elektrárnami v ČR, je asi jedna polovina vyrobená práve malými vodnými elektrárnami. Potenciál tokov, ktorý je využiteľný v MVE je odhadovaný na 1400 GWh/rok. V dnešnej dobe je hodnota nevyužitého potenciálu približne jedna tretina, čo činí 500 GWh/rok a po celej Českej republike je rozmiestnené množstvo lokalít, vhodných na výstavbu MVE. Jedná sa aj o miesta, na ktorých už v minulosti MVE stála, ale kvôli vtedajším problémom museli zaniknúť. Pomerne veľká prekážka pri obnove starých vodných

diel je ekonomická časť, pretože oprava alebo nové postavenie hatí, prírodných kanálov a hrádzi je finančne náročné. K ďalším problémom patrí aj zásah do prírody, pretože výstavbou vodného diela sa zmení ráz krajiny [11].

Na výstavbu MVE, konkrétne mikroelektrárne o výkone niekoľkých kW, nie je potrebná ani rieka s veľkým prietokom alebo spádom. Dostačujúci je aj odtok vody z chovných nádrží, resp. rybníkov. Potenciál odtekajúcej vody je využiteľný za pomoci turbín na malé spády, poprípade je možné použiť aj klasické vodné koleso. V MVE nájdeme najčastejšie turbíny vrtulové, Bánkiho alebo modifikáciu Francisovej turbíny. Turbína môže byť spojená s generátorom buď priamo alebo cez prevod. Generátory sa najčastejšie používajú asynchrónne. Použitie synchronného generátora u MVE je väčšinou zriedkavé. U mikroelektrární je možné využitie aj jednosmerného dynama, keďže sa neočakávajú výrazne veľké výkony. Výkon u mikroelektrární je najčastejšie použitý na súkromné účely [1].



Obr. 1.2: Rozdelenie MVE podľa výkonu podľa [12]

1.5.2 Druhy prevádzky MVE

Podľa druhu prevádzky a vyvedenia výkonu MVE rozoznávame 3 triedy [8].

1. Trieda- MVE pracujúca do celoštátnej elektrizačnej sústavy alebo miestnej elektrizačnej sústavy. Použité sú asynchrónne generátory, pričom nie je využívaná regulácia výkonu a frekvencie. V tomto zapojení sú turbíny zabezpečené proti prebehnutiu v okamihu, kedy ich skokovo odľahčíme. Takisto je použitá

aj hladinová regulácia. Pri tomto type treba pri návrhu počítať aj s pripojením do siete, čiže je potrebné zistiť si dostupnosť rozvodných sietí.

2. Trieda- MVE pracujúca samostatne bez pripojenia do celoštátnej elektrizačnej sústavy. Elektrárne v tomto zapojení pracuje do vlastnej záťaže s automatickým ovládaním. Takto zapojené elektrárne sú vybavené reguláciou výkonu aj napätia. V prípade prerušenia dodávky elektrickej energie sa používajú MVE pracujúce samostatne ako náhradné zdroje pre dôležité spotrebiče, pri ktorých existuje určité riziko v prípade prerušenia dodávky elektrickej energie. Pri tejto triede sa používajú synchronne generátory.
3. Trieda- Táto trieda pojednáva o mikrozdvoch a mobilných zdrojoch, ktoré pracujú oddelene od celoštátnej elektrizačnej sústavy alebo pracujú v miestnej elektrizačnej sústave. Veľká výhoda je, že nemusia pracovať čisto s normalizovaným napätím, ale v prípade potreby môžu pracovať aj s nenormalizovaným napätím. Ďalej dokážu pracovať s jednosmerným napätím, ktoré využijú spotrebiče napríklad na ohrev vody alebo vyhrievanie rodinných domov.

Keďže sa veľké množstvo celkovej spotrebovanej energie minie na vykurovanie objektov a ohrev vody, tak sa použitie mikrozdvojaví ako jedno z najlepších riešení, pri ktorom je možné z ekonomického hľadiska ušetriť podstatnú časť financií utratených za energiu. Elektrickú energiu získanú za pomoci mikrozdvojaví možné takisto používať na osvetľovanie objektov v nočných hodinách alebo iné, energeticky nenáročné, činnosti [8].

1.5.3 Zloženie minielektrárne a mikrozdvoja

Všeobecne môžeme napísať, že klasická minielektrárne sa skladá zo vzdúvacieho zariadenia, prírodného kanálu a hrablíc. Ďalšou súčasťou sú turbíny. Ich počet závisí na zhotoviteľovi daného mikrozdvoja. Turbína je ďalej remencami alebo prevodovkou pripojená ku generátoru. Prevodovka sa používa v prípade, kedy turbína nevyvinie dostatočnú rýchlosť, aby mohol byť generátor použitý súsovo s hriadeľom na turbíne. Elektrický regulátor je súčasťou sústrojí a pri zdroji máme dve možnosti. Buď ho napojíme priamo do rozvodnej siete nízkeho napätia, alebo ho napojíme priamo na zariadenie určené na odber.

Najvhodnejšie turbíny pre využitie malých spádov, sú turbíny vrtulového typu. Podľa praxe je efektívnejšia inštalácia dvoch menších turbín rozličných veľkostí s pevnou geometriou ako inštalácia jednej veľkej turbíny. Malé turbíny nemajú rozvádzacie lopatky, čo má veľkú výhodu v tom, že sa neupchávajú. Medzi ďalšie výhody malých sústrojí patrí, že majú menší priemer obežného kolesa, čím získajú viacej otáčok za minútu. Toto má za následok, že turbínu s väčšími otáčkami môžeme spojiť s generátorom spojku a prevodovka tým pádom nie je potrebná [13].

2 VODNÉ MOTORY PRE MIKROELEKTRÁRNE

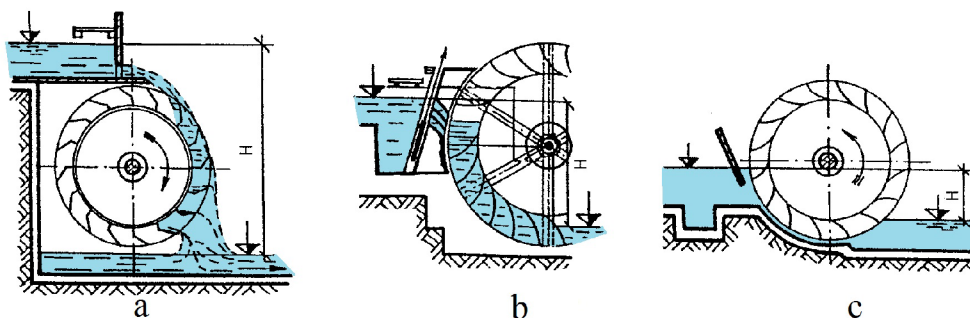
Častou vodného diela, bez ktorého by elektrárne nemali vôbec zmysel, je vodný motor. Je to zariadenie, ktoré slúži na zmenu energie vody na mechanickú prácu.

2.1 Vodné kolesá

Prvý vodný motor bol zhotovený v 2. storočí p.n.l. v Ilýrii. Jednalo sa o prvé vodné koleso s vertikálnym hriadelom pre pohon mlynských kameňov. Vodné koleso patrí medzi najjednoduchšie rotačné vodné motory využívajúce polohovú energiu vody. Voda, ktorá je privádzaná na vodné koleso, naplňuje korččky umiestnené na obvode. Spôsobí hmotnosťou silové zaťaženie, čo má za následok roztočenie vodného kolesa. V blízkosti hladiny sa voda z korčiekov vleje do rieky [12].

Vývoj vodných kolies prebiehal do 20. storočia, kedy ich už pomaly začali nahrádzať vodné turbíny aj v prípadoch, kedy by boli vodné kolesá výhodnejšie. Účinnosť vodného kolesa môže dosahovať až hodnoty 85% v závislosti na prevedení. Pri návrhu môžeme počítať s priemernou účinnosťou, ktorá sa pohybuje od 60 do 70%. Pri výpočtoch všetkých typov vodných kolies je výhodné, že priemer, rozmer korčiekov a tvar lopatiek je závislý iba na použitom spáde a šírka kolesa je závislá čisto na prietoku. Toto má za následok, že vodné koleso sa veľmi ľahko prepočíta na iný prietok [7], [14].

Ako vidíme na obrázku 2.1 môžeme vodné kolesá, podľa spôsobu ako vodu na kolo privádzame, rozdeliť na kolesá s vrchným, stredným a spodným dopadom.



Obr. 2.1: Delenie podľa typu prívodu vody[14]

a)vrchný dopad, b)stredný dopad, c)spodný dopad

Podľa typu konštrukcie môžeme vodné kolesá rozdeliť na korčkové a lopatkové. Korčkové pracujú na princípe využitia potenciálnej energie vody. Väčšinou sa konštruujú ako kolesá s horným náhonom. Do korčiekov je privádzaná voda pomocou náhonu, resp. privádzača. Tento typ kolies dosahuje najvyššie otáčky medzi všetkými

typmi vodných kolies. Využívajú sa prevažne na malé prietoky a na spády okolo 5 m. Poznáme korčekové kolesá s obráteným chodom, s horným dopadom, s priamym chodom a so zadným dopadom. Jednotlivé prevedenia sa od seba odlišujú najmä veľkosťou prietoku, použitého spádu a účinnosťou [14].

Lopatkové kolesá, na rozdiel od korčekových, používajú kinetickú energiu vody. Tento typ kolies patrí medzi najstaršie vyhotovené kolesá. Najväčší rozdiel v porovnaní s korčekovými kolesami je tvar obvodu kolesa. Namiesto korčekov sú tu použité lopatky. Tieto kolesá sa používajú väčšinou so spodným náhonom a miestami aj so stredným náhonom pre veľmi malé spády, ktoré sú od 0,1 m až po 2,5 m. Spodná časť je ponorená vo vode a kinetická energia prúdiacej vody pôsobí na lopatky kolesa, a to sa roztáča v smere prúdenia vody [14].

V prípade vybrania vodného kolesa pri využití vodnej energie v chovných nádržiach v zadanej lokalite pripadá do úvahy použiť korčekové koleso s horným náhonom, ktorý dosahuje účinnosť do 80%. Toto riešenie by zjednodušilo inštaláciu, pretože by neboli potrebné väčšie zásahy do už existujúceho odtoku a mohli by sme priamo využiť existujúci odtok, poprípade vykonať menšie úpravy náhonu

Najväčšia výhoda spočíva v jednoduchosti konštrukcie, z čoho vychádza aj ich oveľa nižšia obstarávacia cena. Nezanedbateľný je aj fakt, že vodné kolesá môžu využívať aj znečistenú vodu a dokážu pracovať už so spádom 0,1 m a prietokmi niekoľko litrov za sekundu. Pri zmene prietoku na väčší, resp. menší, je zmena výkonu malá. Medzi najväčšie nevýhody vodných kolies patrí fakt, že v zime u nich hrozí zamrzanie, hlavne v prípade, kedy sa na noc zastavuje prietok. Avšak je jednoduché riešenie ako tomuto zabrániť, a to výstavbou drevenej, prípadne murovanej strojovne, v ktorej bude vodné koleso umiestnené. Ďalšia nevýhoda spočíva v nízkych otáčkach, z čoho vyplýva nutnosť použitia prevodovky pri spojení s generátorom [14].

2.2 Vodné turbíny

Vodná turbína, je rovnako ako vodné koleso rotačný motor zabezpečujúci premenu kinetickej a tlakovej mernej energie vody na mechanickú energiu rotujúceho hriadeľa. Základným rozdielom v princípe fungovania vodného kolesa a turbíny je spôsob využívania vodnej energie. U vodných kolies sa jedná prevažne o využívanie tiaže vody, zatiaľ čo turbíny využívajú kinetickú energiu vody [8],[12].

Princíp činnosti vodnej turbíny spočíva v prietoku vody v turbíne sústavou pevných lopatiek, ktoré slúžia na vytvorenie rozvádzacích kanálov, v ktorých sa tlaková energia vody premieňa na energiu kinetickú. Tlaková energia vody je vyvolávaná spádom H . Aby sme zabezpečili správny smer výtoku prúdiacej vody, je potrebné,

aby boli lopatky rozvádzacích kanálov zakrivené[8].

2.2.1 Základné časti turbín

Turbína sa skladá z troch základných častí, medzi ktoré patrí obežné koleso, privádzač vody k obežnému kolesu a zariadenie na odvod vody od obežného kolesa.

Na prívod vody najčastejšie nadväzuje špirála, ktorá je ukončená výstužným telesom, ktoré je tam umiestnené kvôli tuhosti a pevnosti. K výstužnému telesu je pripojený rozvádzač, tvorený horným a dolným lopatkovým kruhom, medzi ktorými sú uložené rozvádzacie lopatky, ktoré usmerňujú tok vody privádzaný na lopatky obežného kolesa. Obežné koleso je pracovná časť vodnej turbíny, v ktorej dochádza k premene energie vody na mechanickú energiu. Zariadenie na odvod vody od obežného kolesa slúži k postupnému znižovaniu rýchlosti prúdenia vody, pričom sa zvýši potenciálna energia vody [12].

2.2.2 Stručné rozdelenie turbín

Turbíny je možné rozdeliť podľa rozličných hľadísk. V závislosti od polohy hriadeľa môžu mať turbíny vodorovne uložený alebo zvisle uložený hriadeľ [12]. Z hľadiska orientácie prúdenia vody môžeme turbíny rozdeliť nasledovne:

- axiálne turbíny sú turbíny, pri ktorých voda preteká rovnobežne s osou turbíny,
- radiálne turbíny sú také, pri ktorých voda preteká v kolmom smere na os turbíny,
- diagonálne turbíny, jedná sa o typ turbíny, ktorá využíva vodu pretekajúcu šikmo vzhľadom na hriadeľ turbíny.

Podľa spôsobu prenosu energie vody sa rozlišujú:

- pretlakové turbíny,
- rovnotlakové turbíny.

2.2.3 Pretlakové turbíny

Pretlakové turbíny, niekedy nazývané aj reakčné, sú také, u ktorých prevažuje premena tlakovej energie vody na mechanickú energiu rotujúceho hriadeľa pred premenou kinetickej energie. Turbína sa nazýva pretlaková, keďže tlak vody na výstupe je menší ako tlak vody na vstupe.

Medzi hlavných predstaviteľov pretlakových turbín patrí Reiffensteinova, Franciso-va a Kaplanova turbína. Tieto turbíny však nie sú použiteľné ako turbíny v chovných staniách, pretože sú to turbíny na vysoké prietoky a spády, ktoré nie sme schopní dosiahnuť v našich podmienkach [9].

2.2.4 Rovnotlakové turbíny

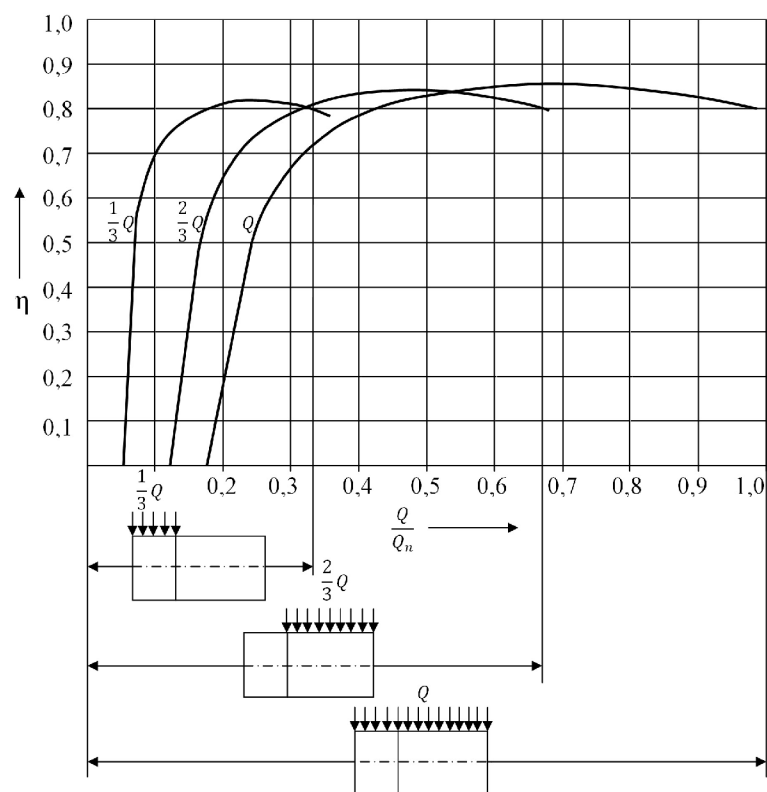
Rovnotlakové turbíny môžeme poznať aj pod názvom akčné turbíny. U tohto typu turbíny voda predá takmer všetku energiu pomocou priameho prenosu na hriadeľ turbíny. Rovnotlakové turbíny sú svojou konštrukciou veľmi podobné lopatkovým vodným kolesám, avšak najväčší rozdiel je v spôsobe predávania energie. Zatiaľ čo u vodného kolesa nastáva rázový prenos energie, u rovnotlakových turbín dochádza k plynulému nabehnutiu vodného prúdu na lopatku a energia je plynulo predávaná. Medzi najznámejšie rovnotlakové turbíny patrí Peltonova s Bánkiho turbína. V našom prípade pripadá do úvahy Bánkiho turbína pretože využíva malé spády a nepotrebuje veľký prietok, a preto bude táto turbína podrobnejšie popísaná [9].

2.2.5 Bánkiho turbína

Bánkiho turbína je typ priečnej rovnotlakovej turbíny, ktorá využíva dvojnásobný prietok. V prvom dostredivom prietoku pracuje medzne alebo pretlakovo a druhý prietok je čisto rovnotlakový. Používa sa pre merné energie E v rozsahu 10 až 2000 $J \cdot kg^{-1}$ a hodnoty prietoku, ktoré sú potrebné, dosahujú hodnôt 20 až 2000 $l \cdot sec^{-1}$. Princíp Bánkiho turbíny je nasledovný. K turbíne sa voda privedie potrubím, ktoré má kruhový prierez. Pred samotnou turbínou je umiestnený takzvaný medzikus, ktorý zmení tvar potrubia na obdĺžnikový a na jeho konci sa nachádza regulačná časť, ktorá je prevažne tvorená klapkou. Medzi stenou medzikusu a klapkou sa spád vody pretransformuje na pohybovú energiu. Voda následne vstupuje do časti vonkajšieho obvodu obežného kolesa, kde lopatky menia smer tečúcej vody do stredu kolesa. Pri tejto zmene smeru sa predá energia obežnému kolesu. Toto je prvý prietok lopatkami, pri ktorom voda predá asi 79% celkového výkonu. Následne voda preteká do priestoru vo vnútri obežného kolesa a ďalej padá na lopatky umiestnené na opačnej strane lopatkového venca. Tu voda predá 21% svojej energie opäť prietokom cez lopatky. Odtiaľto potom voda tečie do telesa turbíny, ktoré je spojené s odpadovou šachtou [7],[12].

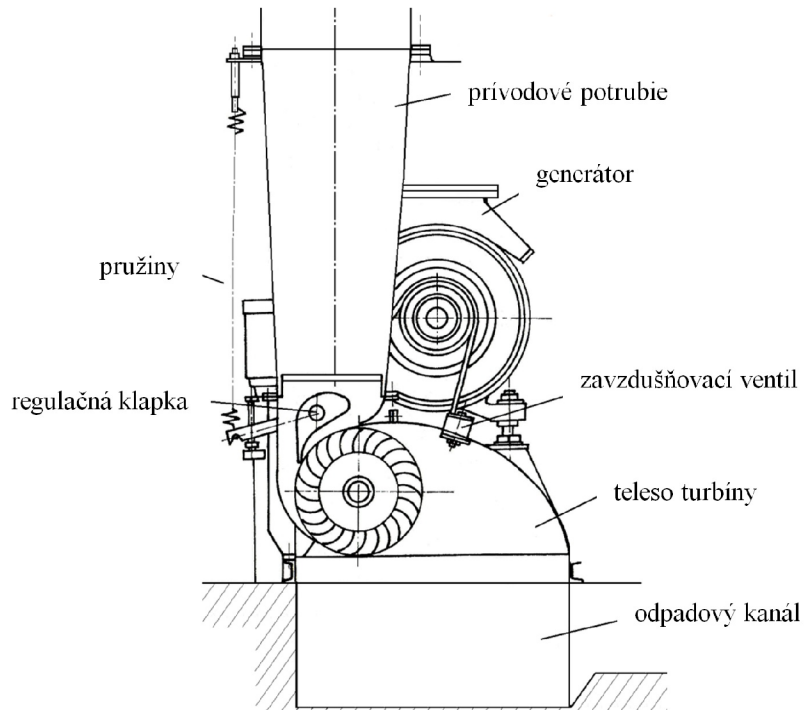
Pri použití Bánkiho turbíny v mikrozdrojoch sa veľmi využíva fakt, že je táto turbína vhodná aj pre malé výkonnosti a aj v prípade, že počítame s kolísavým prietokom vody. Výraznou výhodou použiteľnou aj pri našom návrhu je, že tento typ turbíny veľmi okysličuje vodu a je jednoducho a rýchlo regulovateľná. Vďaka tomu, že sú ložiská umiestnené mimo vody, je možné ju použiť aj na miestach, kde by mohlo potenciálne mazivo ložísk znehodnotiť vodu. Nevýhodou Bánkiho turbíny je časť spádu, ktorý strácame a nehodí sa inštalovať ju na miesta, kde môže stúpnúť spodná voda. Priebeh účinností môžeme vidieť na obrázku 2.2. Ako môžeme pozorovať, charakteristika je plochá a dosahuje dobrú účinnosť aj pri 30 percentnom

plnení. Výroba Bánkiho turbíny je pomerne jednoduchá a možná aj v amatérskych podmienkach, pričom nevyžaduje použitie žiadnych špeciálnych materiálov [1],[7].



Obr. 2.2: Priebeh účinností pri rozličnom zaplnení podľa [8]

Na obrázku 2.3 môžeme vidieť kompletne riešenie Bánkiho turbíny. Na uloženie hriadeľa a zabezpečenie výstupu vody z obežného kolesa slúži teleso turbíny. Musí byť správne nadimenzované na zabezpečenie výstupu vody z obežného kola. V prípade použitia nasávacej trubice je na teleso turbíny umiestnený zavzdušňovací ventil, ktorý slúži na vpúšťanie vzduchu do turbíny v prípade, že v nasávacej trubici vznikne veľký podtlak. Tento podtlak môže vydvihnúť hladinu v nasávacej trubici až k obežnému kolesu, čo by spôsobilo zabrodenie kolesa vo vode. V našom návrhu o nasávacej trubici nebudeme uvažovať, pretože by prípadný prínos nevyvážil zložitost daného riešenia. V prípade nutnosti je možné za pomoci regulačnej klapky uzavrieť turbínu. Klapky sú ovládané pomocou pružín a pákového mechanizmu. Posledná časť je generátor, ktorý je poháňaný obežným kolesom za pomoci klinových remeňov [8].

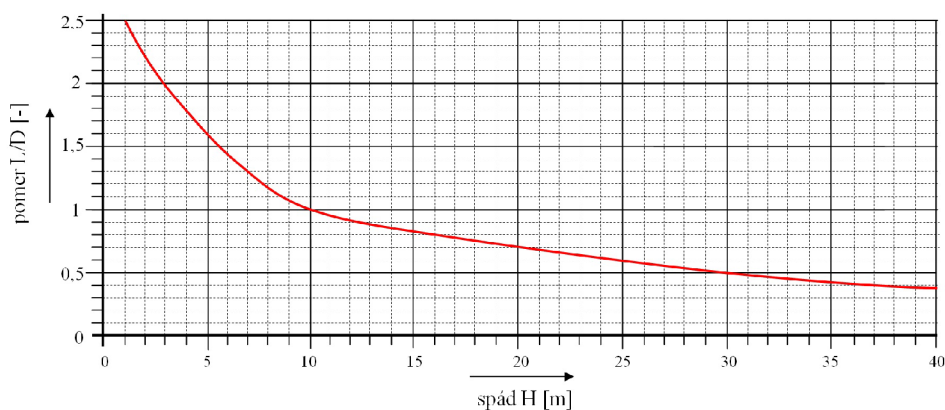


Obr. 2.3: Kompletné riešenie Bánkiho turbíny podľa [8]

2.2.6 Návrh Bánkiho turbíny

Definícia pojmov a značenie veličín v tejto podkapitole vychádza z [7] a [8].

Najdôležitejšie pri návrhu rozmerov Bánkiho turbíny je zvoliť vhodný pomer medzi šírkou obežného kola L , a jeho priemerom D . Pomer L/D sa nazýva súčiniteľom k_{1d} . Tento súčiniteľ je závislý na veľkosti spádu. Ak nie je návrh turbíny ničím obmedzený a lopatky nemáme špeciálne vystužené, tak sa môžeme riadiť nasledujúcim grafom:



Obr. 2.4: Graf určenia pomeru L/D v závislosti na spáde H podľa [7]

Ak máme určený spád vody, tak si na ľavej strane grafu zistíme hodnotu pomeru L/D , čiže súčiniteľa k_{ld} .

Zo spádu, ktorý si zistíme pred samotným návrhom, si môžeme určiť rýchlosť pritekajúcej vody nasledovným vzťahom:

$$c_1 = 0,98 \cdot \sqrt{19,81 \cdot H} \quad [m.s^{-1}] \quad (2.1)$$

Plochu prúdu získame za použitia rýchlosti, ktorá nám vyšla zo vzorca 2.1 a požadovanej hodnoty hltnosti stroja Q :

$$a = \frac{Q}{1000 \cdot c_1} \quad [m^2] \quad (2.2)$$

Na výpočet hrúbky vodného prúdu si musíme určiť koeficienty k_{ld} a k_{ostr} . Koeficient k_{ld} si určíme z grafu 2.4 pre určitý spád. Súčiniteľ ostreku si môžeme zvoliť. Zo začiatku sa pri návrhu používala hodnota 0,05 až 0,01. Dnešné turbíny majú hodnotu $k_{ostr} = 0,3$. Avšak pre náš prípad si zvolíme hodnotu $k_{ostr} = 0,2$ čo je stred medzi jednotlivými hodnotami. Pri získaní obidvoch potrebných koeficientov a plochy štrbiny a , si môžeme určiť hrúbku vodného prúdu pri vtoku do turbíny s .

$$s = 1000 \cdot \sqrt{\frac{a \cdot k_{ostr}}{k_{ld}}} \quad [mm] \quad (2.3)$$

Zo získanej hrúbky vodného prúdu a koeficientu k_{ostr} si môžeme určiť vonkajší priemer obežného kolesa D .

$$D = \frac{s}{k_{ostr}} \quad [mm] \quad (2.4)$$

Ak máme hodnotu pre vonkajší priemer obežného kolesa, tak si môžeme jednoducho určiť vnútorný priemer d_2 . Táto hodnota určuje vzdialenosť, kde končí vnútorná strana lopatiek.

$$d_2 = D \cdot 0,66 \quad [mm] \quad (2.5)$$

Následne sa určí šírka prúdu L_1

$$L_1 = D \cdot k_{ld} \quad [mm] \quad (2.6)$$

Na to, aby sme dosiahli nerušeného vtoku do venca s lopatkami, tak zvolíť šírku obežného kolesa L_2 o niečo väčšiu, než je šírka prúdu L_1 .

$$L_2 = D + \langle 5, 15 \rangle \quad [mm] \quad (2.7)$$

Pre polomer krivosti obežných lopatiek platí:

$$\delta = \frac{D^2 - d_2^2}{2 \cdot D \cdot \cos(180^\circ - \beta)} \quad [mm] \quad (2.8)$$

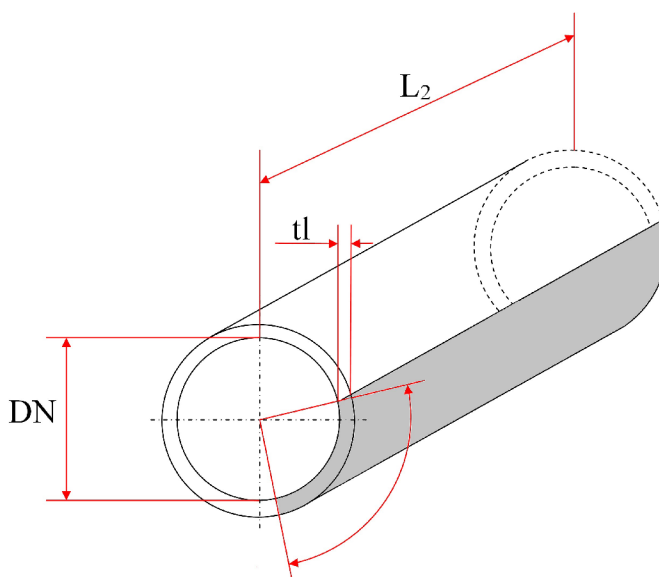
V doterajšom návrhu sme počítali s $d_2 = 0,66 \cdot D$ a $\beta = 150^\circ$, na základe tohto predpokladu môžeme písať:

$$\delta = \frac{0.326 \cdot D}{2} \quad [mm;] \quad (2.9)$$

Lopatka sa vo väčšine prípadov vyrába z rúrky, z ktorej sa vyreže požadovaný tvar. Pre polomer danej rúrky môžeme použiť vzťah 2.9 vynásobený dvomi. Avšak treba zobrať do úvahy aj hrúbku steny, ktorú si označíme tl . Všetky rozmery sú vyobrazené na obrázku 2.5. A teda polomer rúrky DN vypočítame nasledovne:

$$DN = \delta \cdot 2 - 2 \cdot tl \quad [mm] \quad (2.10)$$

V praxi sa vždy používa normalizovaný priemer a hrúbka steny sa môže pohybovať od 3,5 mm až do 8 mm v závislosti na namáhaní a dĺžke lopatky. Z plášťa kruhového valca, ktorý má vnútorný priemer DN , môžeme vyrezať štyri až päť lopatiek. Bánkiho turbína musí mať minimálne 28 lopatiek, avšak doporučená hodnota je 32 lopatiek. V prípade, že počítame aj s častou prevádzkou, pri ktorej je hodnota prietoku minimálna, tak sa použije 36 lopatiek. Nábežná hrana lopatiek sa musí skosiť a s dotyčnicou zvierajú uhol 30° . Výstupná hrana lopatky je takisto skosená a smeruje presne do stredu hriadeľa. V prípade, že výsledné lopatky sú veľmi dlhé, tak sa v prostriedku zosilňujú prstencovitou výstužou z guľatiny, ktorá má priemer 10 až 16 mm. Jej úlohou je spojenie všetkých lopatiek po obvode.



Obr. 2.5: Rozmery rúrky pre výrez lopatky podľa [7]

Za použitia vonkajšieho priemeru turbíny D a vstupnej rýchlosti vody c_1 si môžeme určiť menovite otáčky turbíny n . Naprázdno dosahuje otáčky 1,8-krát väčšie.

$$n = 9898 \cdot \frac{c_1}{D} \quad [ot.min^{-1}] \quad (2.11)$$

Ako posledné treba určiť približný priemer hriadeľa d_h .

$$d_h = 160 \cdot \sqrt[3]{\frac{H \cdot Q}{75 \cdot n}} \quad [mm] \quad (2.12)$$

Tvar výpustu treba navrhnuť tak, aby bol pri všetkých prúdnicach rovnaký uhol α . Toto je možné zabezpečiť evolventným zakrivením výpustu. Pre správne vtekanie vody do obežného kolesa je evolventý tvar výpustu rozhodujúci. Aby nevznikli vo výpuste straty trením a vírením, tak sa priestor výpustu rozširuje.

Prietok do turbíny je regulovaný klapkou, ktorá je v tom najjednoduchšom prípade jedno-zvratná. Tento systém bude vhodný aj pre náš prípad využitia Bánkiho turbíny. Má výhodu v tom, že klapku môžeme na jej začiatku jednoducho utesniť gumovou lištou. Voda vytvára veľkú silu na otvorenie klapky, a preto ju treba pri väčších spádoch vyvážiť závažím.

Na záver návrhu Bánkiho turbíny je možné spomenúť, že do diskov turbíny je výhodné vyvrtáť menšie otvory. Tieto otvory slúžia na nasávanie vzduchu na odvrátenú stranu lopatiek, čím sa zníži riziko vzniku kavitácie a obmedzí podtlak.

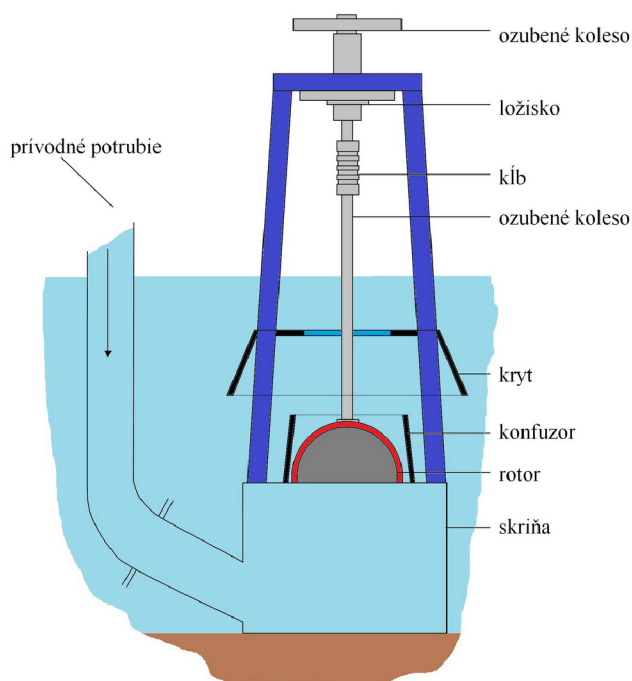
2.2.7 Turbína Setur

Je vodný motor, ktorý k výrobe energie nepoužíva lopatky ako väčšina vodných motorov. Pracuje na princípe odvalovania rotačného telesa vo výtokovom konfuzore. V závislosti na prevedení je s touto turbínou možné dosiahnuť účinnosť 40 až 70%. Je to voľne dostupná turbína, ktorá sa používa prevažne u mikrozdrojov, keďže je určená na spády 0,6 až 20 m a pri prietokoch 4 až 500 $l.s^{-1}$. Prvý typ turbín sa skladal z valcovej komory, do ktorej vstupovalo prírodné potrubie. V spodnej časti komory bolo zúžené miesto. Na hornej časti bola vo vnútri komory zavesená guľa, ktorej povrch bol z gumy a visela v prostriedku komory v najužšom mieste.

Turbína pracuje na úplne odlišnom princípe než prevažná väčšina turbín. Jej princíp je založený na hydrodynamickom parodoxe. Tento jav spôsobuje, že guľa alebo iné zakrivené teleso je k stene priťahované tým viac, čím je rýchlosť kvapaliny medzi telesom a stenou väčšia. Keď do turbíny vpustíme vodu, tak je najväčšia rýchlosť prúdu medzi guľou a odvalovacou hranou. Keďže je guľa zavesená pružne, tak voda, ktorá do turbíny vstupuje tangenciálne, spôsobí miernu rotáciu. Tým, že sa guľa začne roztáčať, dôjde v mieste, kde je bližšie ku stene, k zvýšeniu rýchlosti vody a poklesu tlaku. Toto spôsobí, že sa guľa ešte viac vychýli a pritiahne k stene,

čo má za následok, že medzi stenou a guľou sa vytvorí štrbina kosákovitého tvaru. Vplyvom prúdenia kvapaliny dostaneme guľu do rotácie a čím rýchlejšie kvapalina prúdi, tým je sila priťahujúca guľu k stene väčšia. Táto sila je najväčšia na strane kde sa guľa valí, pretože sa v tomto smere štrbina pred guľou uzatvára. Guľa je v štrbine priťahovaná k stene a súčasne sa aj odvaluje. Týmto sa hriadel, ktorý je ku guľi pevne pripojený, otáča.

Ako každý prístroj aj turbína Setur sa počas svojho vývoja pozmenila. Základný princíp zostal zachovaný, pričom zmena nastala u guľe, ktorá už nie je používaná. Namiesto nej sa používa dutá pologuľa. Ďalším rozdielom je princíp vstupu vody. V minulosti sa voda privádzala z vrchu do turbíny a v dnešnej dobe je voda privádzaná do podstavca turbíny a strojom následne preteká zospodu. Vďaka tejto zmene už nie je potrebné tesniť hriadel. Plast turbíny bol v blízkosti rotoru vytváraný tak, aby sa rozširoval pozvoľne a plynulo. Pri tomto museli byť zachované všetky vlastnosti, ktoré má mať obyčajná sacia trubica. Týmto sa čiastočne využije aj zvyšková energia vody za rotorom. Aby nenastal preklz medzi rotorom a stenou, bolo dokonale odvalovanie zabezpečené ozubeným prevodom s jemným modulom. Na rotore je nalisovaný tvrdý ozubený veniec a medzi prírubami vonkajšieho plášťa je ozubený protikus z plastu. Schematické znázornenie turbíny Setur môžeme vidieť na obrázku 2.6 [7].



Obr. 2.6: Schematické znázornenie turbíny Setur podľa [7]

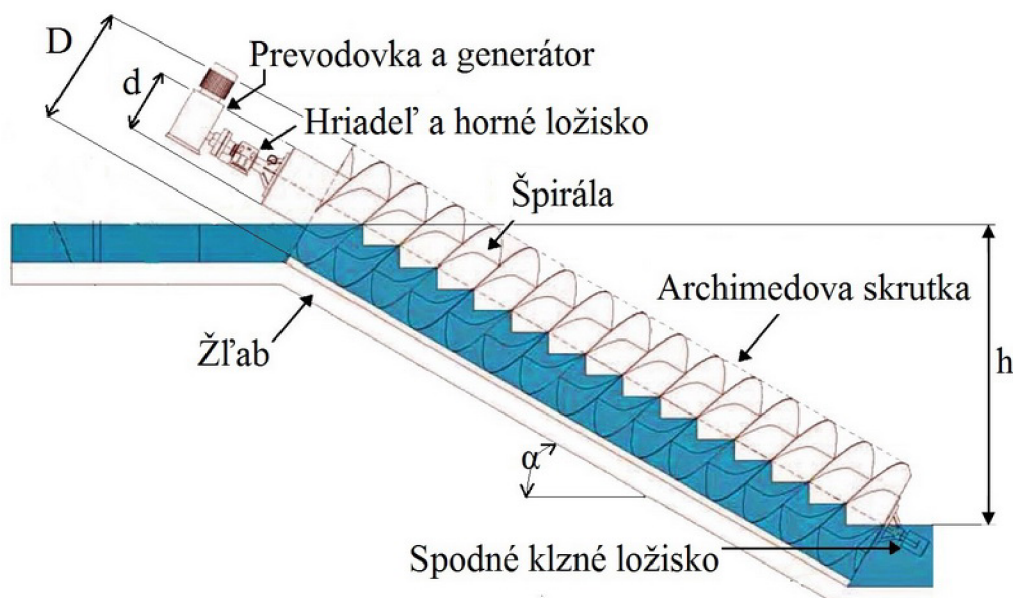
Tab. 2.1: Tabuľka sériovo vyrábaných turbín Setur podľa [7]

typ	DVE120	DVE160	DVE300	DVE600
spád [m]	2 - 20	1,5 - 18	1,2 - 8	0,6 - 3,5
prietok [$l \cdot s^{-1}$]	4 - 20	10 - 25	50 - 160	100 - 500
výkon na hriadeľi [kW]	0,075 - 2,1	0,11 - 2,9	0,4 - 4,3	0,8 - 7
otáčky [$ot \cdot min^{-1}$]	120 - 150	90 - 130	50 - 80	22 - 30

V tabuľke sú uvedené rôzne sériovo vyrábané turbíny Setur, z ktorých si v prípade záverečného návrhu budeme môcť vybrať.

2.2.8 Archimedova skrutka

K netradičným vodným motorom sa môže zaradiť Archimedova skrutka, ktorú vymyslel grécky fyzik Archimedes v 3. storočí pred n.l.. Jeho pôvodné použitie bolo na čerpanie vody, ale tento systém môže pracovať aj v obrátenom režime ako turbína. Ako môžeme vidieť na obrázku 2.7, jedná sa vlastne o dlhú špirálu uloženú šikmo v žľabe alebo rúrke. Archimedova skrutka pracuje s účinnosťou približne 85% a využíva potenciálnu energiu vody [7],[15].



Obr. 2.7: Schematické znázornenie Archimedovej skrutky podľa [16]

Princíp spočíva v tom, že voda voľne priteká k prvému závitú skrutky a vleje sa doň. Svojou hmotnosťou pôsobí na zakrivenú časť závitú, vďaka čomu sa špirála

začne odvíjať smerom dole. Voda následne klesá dolu v špirále, uzavretá oddelene medzi jednotlivými závitmi. Počas celej dráhy stekania vody pôsobí svojou hmotnosťou na steny špirály. Na konci sa voda voľne vyleje do odpadového kanála [7].

V súčasnej dobe použitie Archimedovej skrutky zažíva vzostup, pretože je to extrémne spoľahlivé, jednoduché a veľmi nenáročné technické riešenie. Táto turbína dokáže pracovať s veľmi veľkou účinnosťou aj v prípade, že jej prietok je len 20% nominálnej hodnoty. Všetko pri vysokých úsporách pri obstarávaní technológie, pri výstavbe vodnej elektrárne. Vďaka všetkým výhodám sa doba návratnosti investícií celého projektu značne skrúti [15].

Medzi hlavné prednosti Archimedovej skrutky patrí vysoká účinnosť až do 92% u najväčších strojov. V porovnaní s tradičnými turbínami má Archimedova skrutka veľmi nízke obstarávacie náklady a je veľmi jednoduchá s vysokou spoľahlivosťou v prevádzke. Takisto ako vodné koleso, tak aj Archimedova skrutka okysličuje vodu a nemá negatívny vplyv na životné prostredie, keďže aj v prípade nutnosti umožňuje migráciu rýb. Pre následný návrh turbíny na využitie energetického potenciálu v rybníku by bolo veľkou výhodou dodanie turbíny priamo na mieru podľa špecifických požiadaviek zákazníka. Prípadná inštalácia, už do existujúcich trubiek by trvala podstatne kratšie ako vybudovanie celého systému [15].

Nevýhodou je potreba mazania spodného klzného ložiska ekologickými tukmi a to, že môže v zime zamrzáť, ak nie je krytý. Jeho regulácia je zložitá, a preto túto funkciu musí prevziať dostatočne tvrdý asynchrónny generátor [7].

3 ELEKTRICKÁ ČASŤ MIKROELEKTRÁRNÍ

Keďže mikroelektrárne nedosahujú vysoké výkony a ani v našom návrhu nepredpokladáme vysoké výkony, tak sme značne obmedzení pri výbere generátora, ktorý bude pracovať efektívne s nami zvolenou turbínou. Najrozumnejším sa javí použitie jednosmerného dynamu a synchronného generátora s permanentnými magnetmi. V nasledujúcich kapitolách si tieto dva systémy popíšeme trochu podrobnejšie

3.1 Komutátorové stroje

Komutátorové stroje sú v prevažnej väčšine konštruované na jednosmerný prúd, prípadne na jednofázový striedavý prúd.

3.1.1 Konštrukcia jednosmerných strojov

Stator je tvorený telesom stroja s vnútornými pólmi, ktoré je vytvorené plným oceľovým jadrom s polovými nadstavcami a s elektrolechovými jadrami cievok, na ktorých sú umiestnené cievky statorového vinutia. Existujú aj jednosmerné stroje, ktoré sú konštruované s permanentným budením. Sú to stroje, ktoré sa používajú do výkonu 20 kW. Budiace statorové cievky sú v tomto prípade nahradené permanentnými magnetmi. Jednosmerné stroje sú väčšinou stavané bez vyniknutých statorových pólov. Ich stator je tvorený zväzkom statorových plechov s drážkami pre vinutie. V drážkach je potom uložené budiace vinutie.

Rotor, inak nazývaný kotva, je zložený z oceľového hriadeľa, na ktorom sú nalisované zväzky rotorových plechov. V drážkach rotorových plechov je vinutie, ktoré je napojené na komutátor. Komutátor je valec, ktorého plášť je tvorený lamelou z tvrdej zliatiny medi. Priletovaním sa k lamelám pripájajú vývody rotorových vinutí. Na stator sa umiestňujú uhlíkové kartáče, ktoré sú pritláčané k povrchu komutátora, aby pri otáčaní rotoru po sebe kĺzali [17].

3.1.2 Princíp činnosti dynamu

Dynamo využíva indukčný zákon pre pohybujúci sa vodič v magnetickom poli. Ak otáčame jedným závitom vinutia v magnetickom poli statora generátora, tak sa plynule mení veľkosť magnetického toku, ktorý prechádza týmto vinutím. Pretože je v pohybujúcich sa vodičoch zmena magnetického toku, tak sa v nich indukuje napätie. V prípade pohybu vodiča vinutia v rovnobežnom smere s indukčnými čiarami sa nenaindukuje žiadne napätie. Táto oblasť sa nazýva neutrálna časť. Počas toho

ako sa vinutie otáča, tak sa mení smer priechodu indukčných čiar, čo má za následok zmenu polaritu indukovaného napätia. Z tohto môžeme vyvodit', že v kotve dynama sa indukuje striedavé napätie. Ak však pripojíme koniec vinutia na dva zberné krúžky, ktoré sú na hriadeli kotvy, môžeme cez zberné kartáče odvieš' striedavé napätie, ktoré sa indukovalo vo vinutí. Ak konce vinutia pripojíme na lamely komutátora, príde pri každej pol otáčke kotvy k prepošovaniu odberu z komutátora. Z tohto vyplýva, že z kartáčov je už odoberané jednosmerné napätie, ktoré má tvar pulzov. Na to, aby sme dosiahli nekolísavé výstupne napätie, sa používajú dynamá, ktoré majú viac zvitov rozmiestnených pozdĺž obvodu rotora. Tieto závity sú všetky jednotlivo vyvedené na rovnaký počet lamiel komutátoru. Lamely sú usporiadané tak, aby kartáče vždy odoberali napätie iba z jednej dvojice lamiel, ktoré zodpovedajú slučke s najväčším indukovaným napätím, pričom napätie ostatných slučiek nie je využívané [17].

Zdrojom jednosmerného budiaceho prúdu môže byť cudzí zdroj, ktorým môže byť u dynama s cudzím budením napríklad batéria. U derivačného dynama to môže byť svorkové napätie alebo u sériového dynama to je prúd kotvy, kde je budiace vinutie spojené v sérii s kotvou. Existuje ešte kombinácia dvoch budiacich vinutí a to derivačného a sériového. Táto kombinácia sa nazýva kompaundné dynamo [5].

4 OBJEKT REALIZÁCIE

Objekt sa nachádza pri Šumperku a jedná sa o rybárstvo Bělídlo. V objekte sa nachádza sedem menších a jedna väčšia nádrž, ktoré sú medzi sebou prepojené potrubím. Z južnej nádrže a z veľkého rybníka je následne voda vypúšťaná potrubím do derivačného kanála, ktorý je momentálne využívaný malou vodnou elektrárnou v danom objekte. Vodu z týchto výtokov budeme práve my využívať k výrobe elektrickej energie. Na obrázku 4.1 je zobrazené, ako daný odpadový kanál reálne vyzerá.



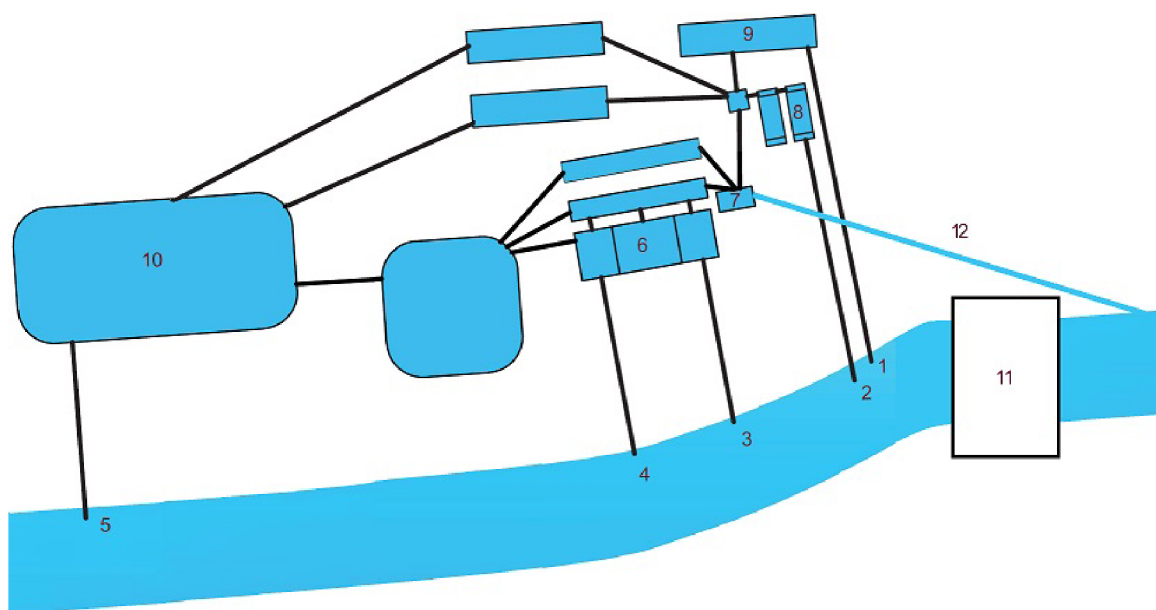
Obr. 4.1: Príklad výtoku odpadovej vody

Keďže očakávame spád od 2 do 4 metrov a prietoky približne $15 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, tak nemôžeme používať turbíny, ako sú Kaplanova a Francisova. Ako najvýhodnejšie riešenie sa javí využitie Bánkiho turbíny. Túto turbínu si podľa uvedeného postupu v kapitole 2.2.6 postupne navrhujeme. Ako alternatívne riešenie ku Bánkiho turbíne sa javí jednoduché vodné koleso, ktoré takisto ako Bánkiho turbína, nie je náročné na zhotovenie. V prípade záujmu by bolo možné použiť aj komerčne vyrábanú turbínu Setur alebo pomerne málo rozšírenú Archimedovu skrutku.

Vďaka malým spádom a prietokom očakávame výkony v stovkách Wattov maximálne 1 kW. Pravdepodobne sa rozhodneme na výrobu elektrickej energie použiť jednosmerné dynamo a tým pádom aj celkový rozvod zabezpečiť jednosmerný.

Možnosti využitia získanej energie v danom objekte sú rôzne. Keďže sa jedná o chovný rybník, tak sú problémy s celoročným udržovaním teploty vody. V lete ju treba ochladzovať a v zime zase naopak otepľovať. Toto je zabezpečené prečerpávaním vody zo studne, ktoré je v momentálnej situácii finančne neefektívne a tým pádom by sme získanú energiu mohli využívať priamo na čerpadle, kde by sme použili jednosmerný motor. Ako ďalšia možnosť energie sa javí využitie pri okysličovaní vody v liahňach. Okysličenie vody patrí v liahňach medzi základnú vec pre správnu činnosť, pretože kyslík potrebujú ryby k svojmu životu. Okysličovanie je potrebné v lete, keď sa kyslík v teplej vode zložito udržuje, ale aj v zime, aby sa zabránilo zamrznutiu. Okysličovanie je možné zabezpečiť čerpadlom, ktoré prečerpá vodu do určitej výšky a jej následným pádom sa na hladine vytvoria bubliny, ktoré zabezpečia okysličenie danej vody, v našom prípade vody v liahni. Medzi poslednú zvažovanú možnosť využitia vyrobenej elektrickej energie je jej akumulácia do batérií, ktoré by mohli slúžiť napríklad ako záložný zdroj.

Na obrázku 4.2 je možné vidieť náčrtok areálu Bělídlo. Treba brať na vedomie, že sa jedná iba o schematické znázornenie.



Obr. 4.2: Schematické znázornenie areálu

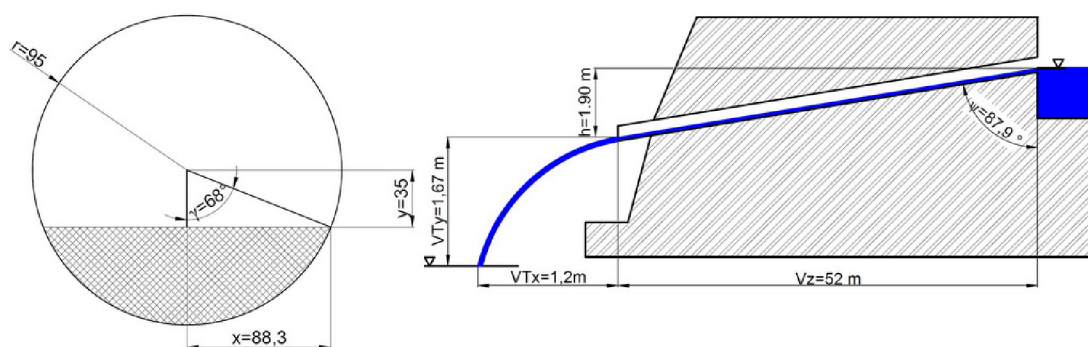
Kde čísla 1,2,3,4 a 5 predstavujú výtokové rúrky, na ktoré sa zameriame pri výpočtoch. 6) Chovná nádrž na ryby. 7) Hlavná nádrž, do ktorej priteká voda z rieky a kde sa mieša voda z vodou zo studne. 8,9) Predajné nádrže. 10) Najväčšia nádrž, do ktorej vteká voda zo všetkých nádrží, ktorá nevyteká výtokmi do derivačného kanálu. 11) MVE, využívajúca derivačný kanál. 12) Hlavný prítok vody do nádrže číslo 7.

4.1 Určenie prietoku a spádu

Ako môžeme vidieť na obrázku 4.2, v objekte sa nachádza päť potenciálne využitelných výtokov. Ďalšie dva, ktoré vytekajú zo strednej nádrže, nebudeme zvažovať, pretože sú uzatvorené. Ako prvé bolo potrebné určiť samotný spád a množstvo vody pretekajúce vytokmi. Spád sme určovali pomocou laseru a metra, pričom bol zmeraný výškový rozdiel hladín, ktorý sme neskôr použili aj na výpočet samotného prietoku. Prietok sme počítali ako šikmý vrh, pričom sa spočítala rýchlosť vytekajúcej vody za pomoci zmeraných hodnôt. Z rýchlosti a obsahu zaplnenej časti sme už prietok spočítali jednoduchým vzorcom. Postup výpočtu a zakreslenie výtokov je uvedený v nasledujúcej kapitole.

4.1.1 Zakreslenie výtokov a určenie prietoku

Ako prvé sme zmerali výtok 1, ktorý odvádza vodu z novovybudovanej nádrže a je teda aj najnovší. Kompletný náčrt v dobe merania je možné vydiť na obrázku 4.5



Obr. 4.3: Zakreslenie výtoku 1

Spád sme zmerali od hladiny po spodnú časť rúrky výtoku, a preto sme pri výpočte museli počítať s hodnotou zníženou o výšku zaplnenej časti rúrky. Ako bolo už uvedené, prietoky sú počítané pomocou vzorcov na výpočet šikmého vrhu, pričom značenie veličín vychádza z obrázku 4.4 a to nasledovne:

Ako prvé použijeme rovnicu pre šikmý vrh, ktorá má tvar :

$$VTy = v_y \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad [m] \quad (4.1)$$

Ďalej pre dráhu v smere osi x platí :

$$VTx = v_x \cdot t \quad [m] \quad (4.2)$$

pre uhol psi platí:

$$\tan \psi = \frac{v_x}{v_y} = \frac{VTx}{v_y \cdot t} \Rightarrow v_y = \frac{VTx}{\tan \psi \cdot t} \quad [-] \quad (4.3)$$

Do rovnice 4.1 dosadíme výsledok z rovnice 4.3 a získame

$$VTy = \frac{VTx}{\tan \psi \cdot t} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = VTy - \frac{VTx}{\tan \psi} \Rightarrow \quad (4.4)$$

$$t = \sqrt{\frac{2}{g} \cdot \left(VTy - \frac{VTx}{\tan \psi} \right)} \quad [s] \quad (4.5)$$

Po získaní časového údaju, resp. doby za ktorú voda ukončí vrh, môžeme získať jednotlivé zložky rýchlosti následovne:

$$v_x = \frac{VTx}{t} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (4.6)$$

a zároveň

$$v_y = \frac{v_x}{\tan \psi} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (4.7)$$

Z rovníc 4.6 a 4.7 určíme výslednú rýchlosť vody.

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (4.8)$$

Pre výpočet samotného prietoku si je ešte potrebné z obrázku 4.3 odvodiť vzorec pre výpočet obsahu zaplnenej časti. Tento vzorec bude potom možné použiť pre všetky zvyšné prietoky.

$$S_{z\check{c}} = \pi \cdot r^2 \cdot \frac{2 \cdot \gamma}{360} - \left(\frac{x \cdot y}{2} \right) \cdot 2 \quad [m^2] \quad (4.9)$$

Po dosadení do rovnice 4.9 získame:

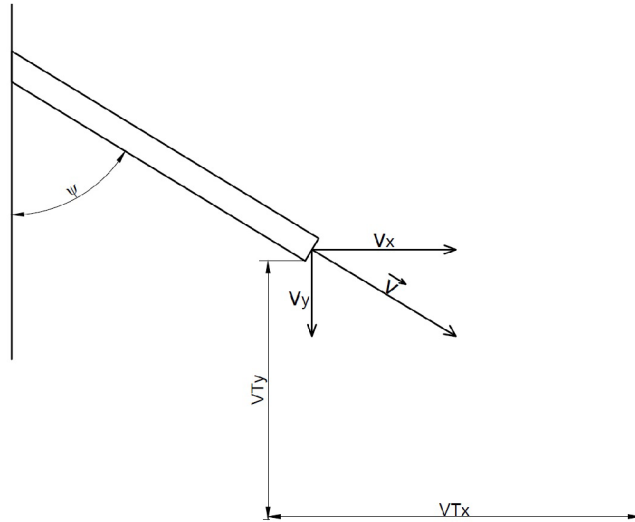
$$S_{z\check{c}1} = \pi \cdot 0,095^2 \cdot \frac{2 \cdot 68}{360} - \left(\frac{0,0883 \cdot 0,035}{2} \right) \cdot 2 = 7,621 \cdot 10^{-3} m^2 \quad (4.10)$$

Následne si podľa vzorca 4.5 môžeme počítat čas výtoku :

$$t = \sqrt{\frac{2}{g} \cdot \left(1,67 - \frac{1,2}{\tan 87,9} \right)} = 0,576 s \quad (4.11)$$

Po získaní hodnoty času si spočítame hodnoty rýchlostí v jednotlivých smeroch a následne určíme výslednú rýchlosť.

$$v_x = \frac{1,2}{0,576} = 2,083 m \cdot s^{-1} \quad (4.12)$$



Obr. 4.4: Výpočet výtokovej rýchlosti

kde VTy predstavuje výšku rúrky od vodnej hladiny, resp. miesta dopadu vody a VTx zobrazuje vzdialenosť dopadu vody od miesta výtoku.

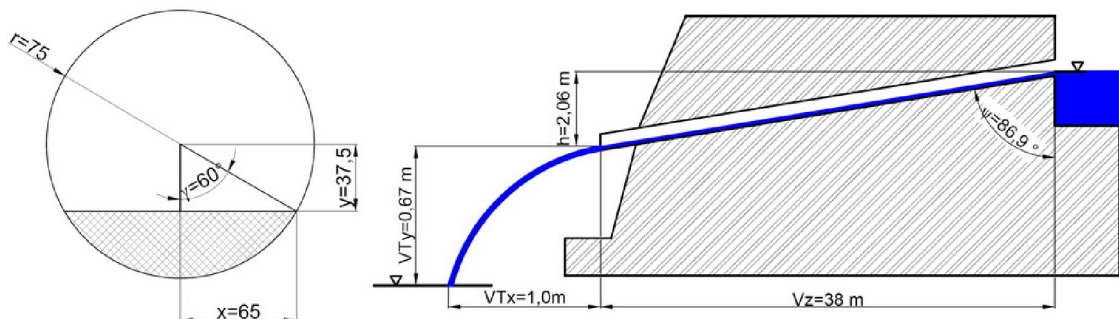
$$v_y = \frac{2.083}{\tan 87,9} = 0.076 \text{ m.s}^{-1} \quad (4.13)$$

Z hodnôt v_x a v_y určíme výslednú rýchlosť výtoku vody z rúrky podľa 4.8 :

$$v = \sqrt{2.083^2 + 0.076^2} = 2,084 \text{ m.s}^{-1} \quad (4.14)$$

Ako posledné ostáva už len spočítať hodnotu prietoku z jednoduchého vzorca:

$$Q_{v1} = S_{zč0} \cdot v = 7.621 \cdot 10^{-3} \cdot 2,084 = 15.88 \text{ l.s}^{-1} \quad (4.15)$$



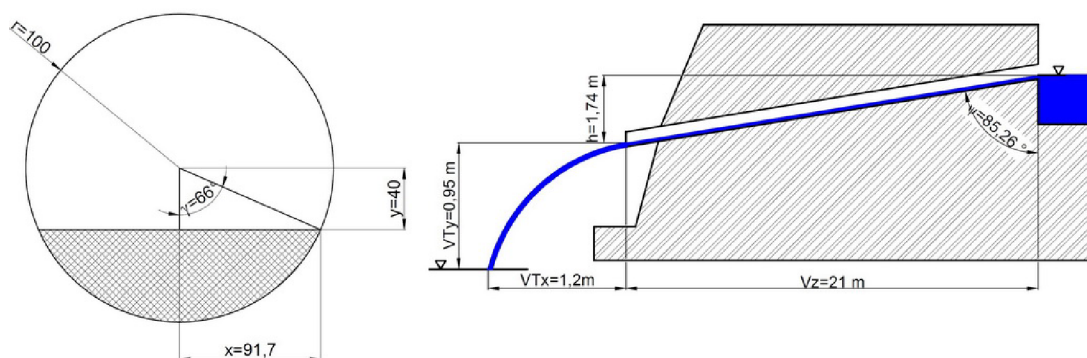
Obr. 4.5: Zakreslenie výtoku 2

Výtok 2, ktorý je zakreslený na obrázku 4.5, slúži na odvod vody z predajnej nádrže a za použitia rovnakých vzorcov ako u výtoku 1 sme získali nasledujúci prietok:

$$S_{zč2} = 3,453 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$Q_{v2} = 9,75 \text{ l.s}^{-1}$$

Výtok číslo 3, zobrazený na 4.6, odvádza vodu z chovnej nádrže aj spolu s výtokom číslo 4.



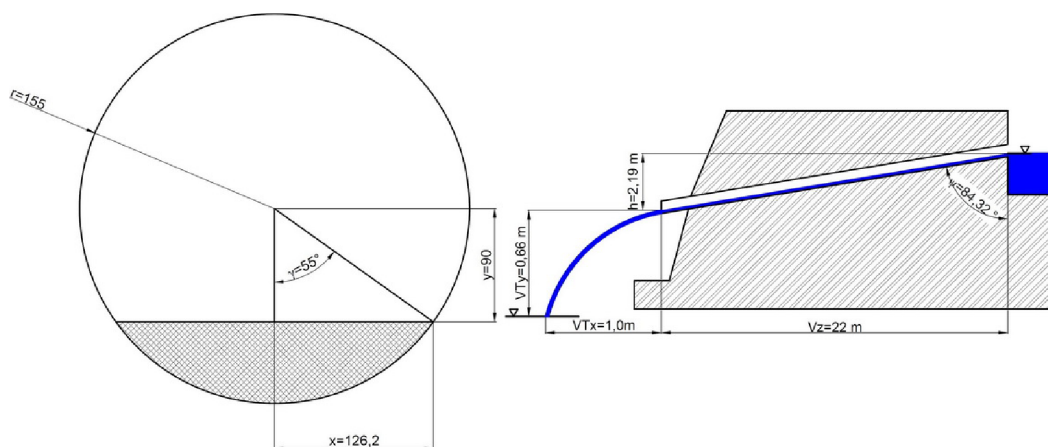
Obr. 4.6: Zakreslenie výtoku 3

Pre tento výtok boli zistené nasledujúce hodnoty:

$$S_{zč3} = 7,851 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$Q_{v3} = 22,7 \text{ l.s}^{-1}$$

Ako môžeme vidieť z obrázku 4.7, výtok 4 má priemer rúrky najväčší.



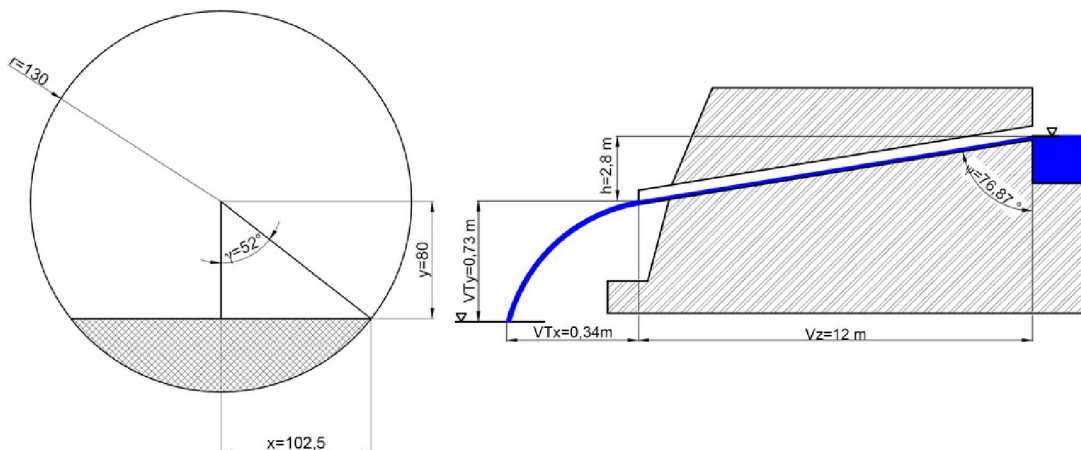
Obr. 4.7: Zakreslenie výtoku 4

Ako sme už spomenuli, výtok číslo 4 odvádza vodu z chovnej nádrže a je neustále otvorený a má nasledujúcu hodnotu prietoku a obsahu zaplnenej časti rúrky:

$$S_{z\check{c}4} = 11,71 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$Q_{v4} = 34,81 \text{ l.s}^{-1}$$

Posledný otvorený výtok je výtok číslo 5, ktorý odvádza vodu z veľkého rybníka umiestneného v zadnej časti areálu. Rozmery je možné vidieť na 4.8.



Obr. 4.8: Zakreslenie výtoku 5

Pre tento výtok sme získali nasledujúce hodnoty :

$$S_{z\check{c}5} = 7,138 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$Q_{v5} = 6,841 \text{ l.s}^{-1}$$

Zo získaných hodnôt môžeme povedať, že najlepšie sa javia, podľa hodnôt získaných v dobe merania, na využitie výtoky 3 a 4, pretože ich hodnoty prietokov sú najväčšie, čo môžeme vidieť v tabuľke 4.1.

Tab. 4.1: Tabuľka získaných prietokov a prierezov

Výtok	Prierez	Prietok
1	$7,621 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$	$15,88 \text{ l.s}^{-1}$
2	$3,453 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$	$9,75 \text{ l.s}^{-1}$
3	$7,851 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$	$22,7 \text{ l.s}^{-1}$
4	$11,71 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$	$34,81 \text{ l.s}^{-1}$
5	$7,138 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$	$6,841 \text{ l.s}^{-1}$

4.2 Návrh turbíny na zvolený výtok

Z tabuľky 4.1 môžeme jasne konštatovať, že najväčší potenciál sa nachádza vo výtokoch číslo 1,3 a výtoku číslo 4, a preto sa aj na tieto výtoky najviac zameriame. Kvôli nižším hodnotám spádu a relatívne malým prietokom padol výber na Bánkiho turbínu, ktorú je možné použiť aj za našich podmienok. Pri návrhu budeme vychádzať z kapitoly 2.2.6, kde je samotný postup podrobne rozpísaný.

Pre výtok číslo 4 si ako prvé z grafu 2.4 určíme pomer L/D , čiže súčiniteľ k_{ld} . Hodnota tohoto súčiniteľa vychádza

$$k_{ld} = 2,15$$

Následne zo spádu si podľa rovnice 2.1 určíme rýchlosť vody pritekajúcej do turbíny:

$$c_1 = 0,98 \cdot \sqrt{19,81 \cdot 2,19} = 6,455 \text{ m.s}^{-1} \quad (4.16)$$

Po získaní hodnoty rýchlosti a zmeraného prietoku si môžeme následne určiť plochu prúdu podľa vzorca 2.2. Hodnotu prietoku sme zaokrúhlili na 35 l.s^{-1} .

$$a = \frac{35}{1000 \cdot 6,455} = 5,422 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (4.17)$$

Pre výpočet hrúbky vodného prúdu použijeme hodnotu k_{ld} a koeficient ostreku $k_{ostr}=0,2$. Hodnotu 0,2 volíme preto, že je to stredná hodnota medzi hodnotami súčiniteľa ostreku, používaných v minulosti a v dnešnej dobe a pre náš návrh sa javí stredná hodnota ako najrozumnejšie riešenie.

$$s = 1000 \cdot \sqrt{\frac{5,422 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2}{2,15}} = 22,458 \text{ mm} \quad (4.18)$$

Ako ďalšie si určíme už rozmer samotnej turbíny, a to konkrétne vonkajší priemer obežného kola. Jeho hodnotu získame pomocou dosadenia už vypočítaných hodnôt do vzorca 2.4.

$$D = \frac{22,458}{0,2} = 112,29 \text{ mm} \quad (4.19)$$

Po určení vonkajšieho priemeru D , je potrebné vypočítať, pomocou vzorca 2.5 vnútorný priemer kola.

$$d_2 = 112,29 \cdot 0,66 = 74,11 \text{ mm} \quad (4.20)$$

Teraz, keď máme hodnoty priemerov určené, je potrebné určiť šírku obežného kola L_2 . Avšak pred tým, ako sme ju schopní určiť, musíme si určiť podľa vzťahu 2.6 hodnotu potrebnej šírky prúdu.

$$L_1 = 112,29 \cdot 2,15 = 241,423 \text{ mm} \quad (4.21)$$

Z hodnoty L_1 si môžeme teraz určiť šírku obežného kolesa L_2 pomocou 2.7. Treba brať do úvahy, že k hodnote šírky L_1 sa pripočíta malá hodnota z dôvodu zabezpečenia nerušeného toku vody do kolesa.

$$L_2 = 241,423 + 15 = 256,423 \text{ mm} \quad (4.22)$$

Hodnota L_2 je posledný rozmer turbíny. Následne si treba určiť rozmery pre lopatky. Pre polomer krivosti lopatiek platí vzťah 2.9, z ktorého po dosadení získame hodnotu :

$$\delta = \frac{0.326 \cdot 112.29}{2} = 18.303 \text{ mm} \quad (4.23)$$

Keďže sa lopatka vyrába väčšinou z určitej rúrky, z ktorej sa potom vyrezaním dosiahne požadovaný tvar, tak si musíme určiť jej priemer. Ten získame vynásobením výsledku zo vťahu 4.23 dvomi. Hrúbku rúrky môžeme určiť v rozsahu 3,5 až 8 mm. Výber záleží na tom, či sa bude lopatka veľmi namáhať a ohýbať. My sme si zvolili hodnotu :

$$tl = 3,5 \text{ mm}$$

pretože nepredpokladáme veľké namáhanie.

Následne si určíme polomer danej rúrky:

$$DN = 18,303 \cdot 2 - 2 \cdot 3,5 = 29,306 \text{ mm} \quad (4.24)$$

Keď už poznáme všetky rozmery turbíny, tak sme schopní spočítať menovité otáčky n podľa vzťahu 2.11 nasledovne:

$$n = 9898 \cdot \frac{6,455}{112,29} = 569 \text{ ot.min}^{-1} \quad (4.25)$$

Otáčky naprázdno získame vynásobením menovitých otáčok hodnotou 1,8.

$$n_0 = n \cdot 1.8 = 569 \cdot 1.8 = 1025 \text{ ot.min}^{-1} \quad (4.26)$$

Ako posledné si určíme priemer hriadeľa turbíny, ako je uvedené vo vzťahu 2.12:

$$d_h = 160 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,19 \cdot 35}{75 \cdot 569}} = 19,449 \text{ mm} \quad (4.27)$$

4.2.1 Navrhnutá Bánkiho turbína pre jednotlivé výtoky

Postup uvedený v kapitole 4.2 sme zopakovali aj pre výtoky 1 a 3. Všetky získané rozmery sú uvedené prehľadne v nasledujúcej tabuľke 4.2.

Tab. 4.2: Tabuľka rozmerov pre jednotlivé turbíny

	Výtok 1	Výtok 3	Výtok 4
Súčiniteľ k_{ld}	2, 25	2, 3	2, 15
Rýchlosť pritekajúcej vody c_1	6,013 $m.s^{-1}$	5,754 $m.s^{-1}$	6,455 $m.s^{-1}$
Plocha prúdu a	$2,66 \cdot 10^{-3} m^2$	$3,99 \cdot 10^{-3} m^2$	$5,42 \cdot 10^{-3} m^2$
Hrúbka vodného prúdu s	15,380 mm	18,644 mm	22,458 mm
Vonk. priemer ob. kola D	76,901 mm	93,221 mm	112,29 mm
Vnút. priemer ob. kola d_2	50,755 mm	61,526 mm	74,11 mm
Šírka prúdu L_1	173,027 mm	214,408 mm	241,423 mm
Šírka obežného kola L_2	188,027 mm	229,408 mm	256,423 mm
Polomer krivosti lopatiek δ	12,535 mm	15,195 mm	18,303 mm
Polomer lopatkovej rúrky DN	18,069 mm	23,390 mm	29,306 mm
Menovité otáčky n	774 $ot.min^{-1}$	611 $ot.min^{-1}$	569 $ot.min^{-1}$
Otáčky naprázdno n_0	1393 $ot.min^{-1}$	1100 $ot.min^{-1}$	1025 $ot.min^{-1}$
Priemer hriadeľa turbíny d_h	12,897 mm	15,94 mm	19,449 mm

Pri predpoklade účinnosti Bánkiho turbíny 75% môžeme za použitia vzorca 1.11 zistiť predpokladaný výkon, ktorý môžeme získať. Do tohoto čísla budeme musieť ešte v konečnom dôsledku započítať aj účinnosť generátora, poprípade prevodovky.

Pre výtok 1 bude potom platiť:

$$P_{v1} = 1000 \cdot 9,80665 \cdot 1,90 \cdot 16 \cdot 10^{-3} \cdot 0,75 = 223,592 W \quad (4.28)$$

Obdobne môžeme získať hodnoty výkonu pre výtok 3:

$$P_{v3} = 1000 \cdot 9,80665 \cdot 1,74 \cdot 23 \cdot 10^{-3} \cdot 0,75 = 294,347 W \quad (4.29)$$

a pre výtok 4

$$P_{v4} = 1000 \cdot 9,80665 \cdot 2,19 \cdot 35 \cdot 10^{-3} \cdot 0,75 = 563,760 W \quad (4.30)$$

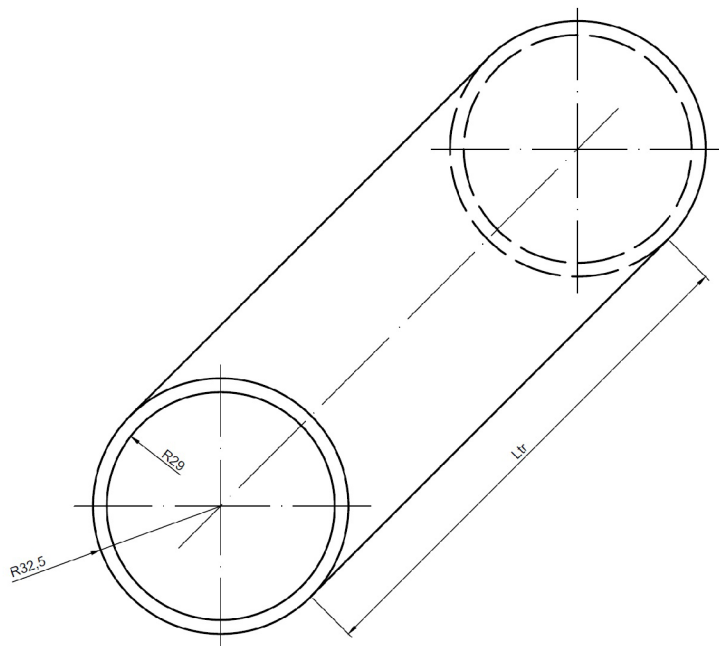
4.2.2 Konštrukcia Bánkiho turbíny

Keďže z tabuľky 4.2 a následného výpočtu výkonu je zrejmé, že najefektívnejšie bude využitie výtoku číslo 4, tak je pravdepodobné, že u tohoto výtoku príde k prípadnej realizácii mikrozdroja. Samotná výroba Bánkiho turbíny nie je zložitý proces a preto sa mu môžeme venovať trochu podrobnejšie a navrhnúť už konkrétnu turbínu na výtok číslo 4.

Ako prvé môžeme vyrezať z nerezového plechu kruh o priemere $D = 113 \text{ cm}$. Toto bude tvoriť bočnú stenu samotnej turbíny, na ktorú sa následne privarí lopatky.

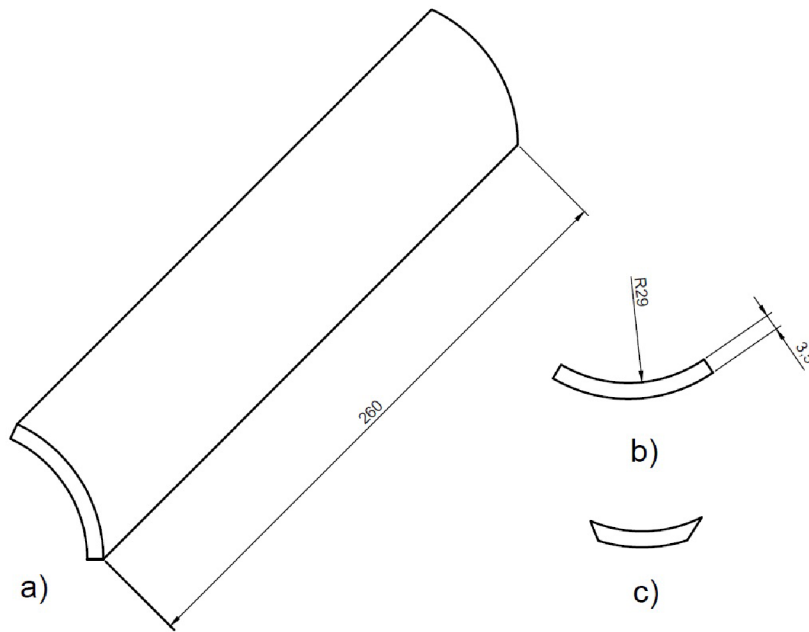
Lopatky vyrobíme z rúrky o priemere DN . Z jedného kusu rúrky je možné vyrezať maximálne 5 kusov lopatiek a to tak, že vytvoríme výrezy, ako je znázornené na obrázku 2.5. Z konštrukčného hľadiska, pre potrebu zachovania vnútorného priemeru obežného kola sa namiesto 75° volí hodnota 65° . Pre našu turbínu použijeme 28 lopatiek o dĺžke $L_2 = 26 \text{ cm}$ a hrúbke $3,5 \text{ mm}$.

Na obrázku 4.9 môžeme vidieť zakreslenú samotnú rúrku pre výrobu lopatiek, ktorej dĺžka je závislá na aktuálnej ponuke samotného predajcu nerezových rúrok. Jej dĺžka L_{tr} môže byť od jedného do siedmich metrov.



Obr. 4.9: Rúrka na lopatku

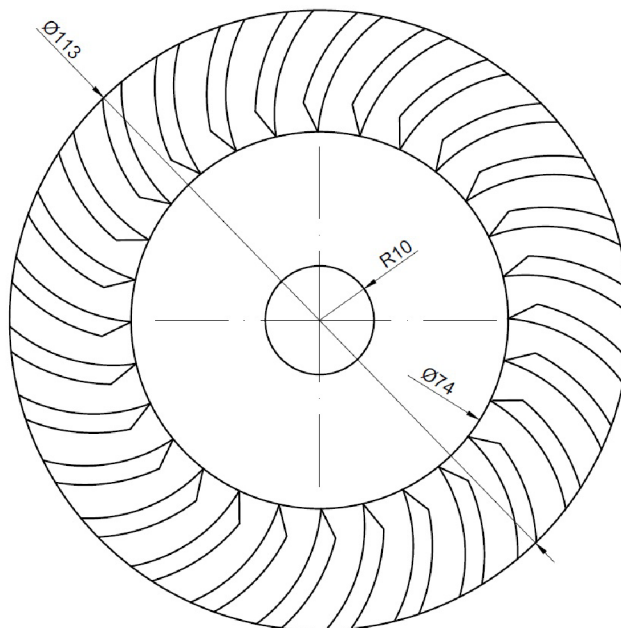
Na ďalšom obrázku 4.10 je už vyobrazená samotná lopatka, ktorá je vyrezaná z vyššie uvedenej rúrky. U lopatiek treba ešte spomenúť fakt, že nábežná hrana lopatiek musí byť zaostrená a zvierá s dotyčnicou obežného kola uhol 30° . Výstupná hrana je taktiež priostrená a smeruje do stredu hriadeľa.



Obr. 4.10: Lopatka na turbínu

kde a) je 3D zobrazenie výrezu lopatky, b) je pohľad spredu na vyrezanú časť a c) je už finálne upravený výrez pre naše použitie.

Po tom, ako vyrobíme 28 kusov potrebných lopatiek, je možné ich privaríť na ne-rezový plech, ktorý sme vyrobili ako prvý. Toto je zobrazené na nasledujúcom obrázku 4.11.



Obr. 4.11: Lopatky pripevnené na bočnú stenu obežného kola

Pri praktickom zakreslení danej situácie sme objavili jeden problém, pri ktorom sa výpočet nezhodoval s praxou. V tomto prípade sa jednalo o fakt, že vypočítaná lopatka bola väčšia ako je rozdiel vnútorného a vonkajšieho priemeru. Kvôli tejto príčine je výsledná lopatka, z dôvodu zachovania veľkosti vnútorného priemeru, o kúsok menšia, ako bol pôvodný vypočítaný prierez.

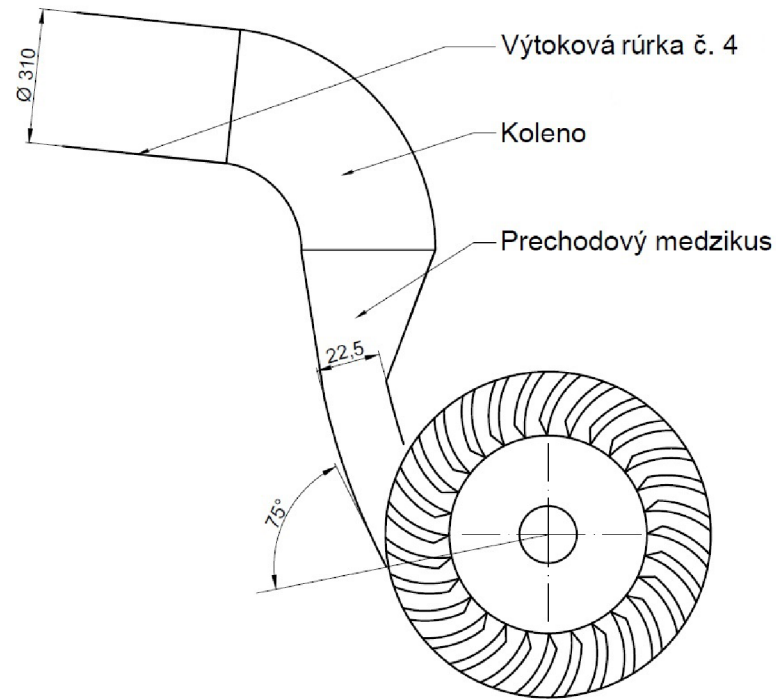
Po tom, ako všetky lopatky privarime ku kruhovému plechu, je ešte potrebné privariť druhú bočnú stenu turbíny. Ako posledné je potrebné cez obežné kolo dať hriadeľ o priemere 20 mm a upevniť ho privarením k obežnému kolu. Týmto už získame prakticky kompletnú turbínu, pretože všetko ostatné sú už len doplnky potrebné k činnosti turbíny a na obrázku 4.12 je zakreslené, ako výsledný produkt vyzerá.



Obr. 4.12: Obežné kolo

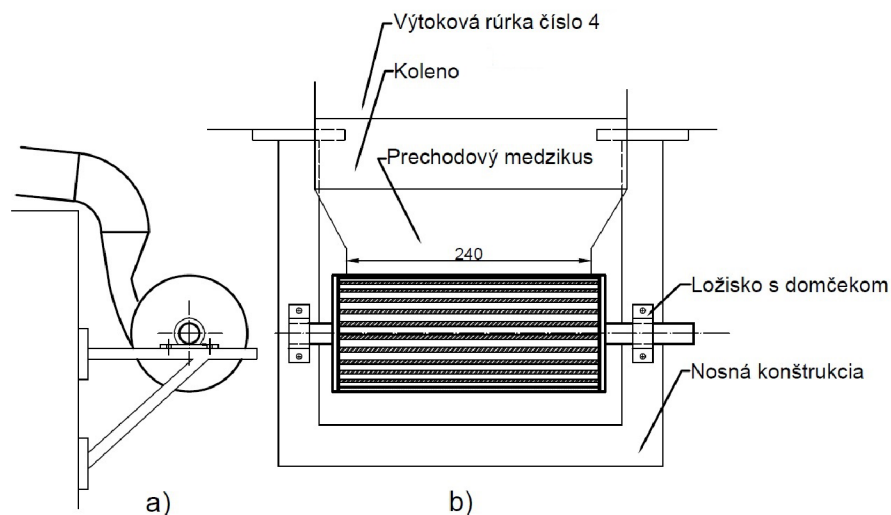
Po zhotovení turbíny je nutné určitým spôsobom upraviť prítok vody, aby sme mali odpovedajúcu šírku a hrúbku vodného prúdu. Toto zabezpečíme vytvorením prechodového medzikusu, ktorým potrebujeme hodnoty získame. Medzikus zabezpečuje prívod vody do turbíny a je tvorený väčšinou z plechov, ktoré sú prizvarované k sebe na zabezpečenie pevnosti. Medzi prechodovým medzikusom a samotnou výtokovou rúrou bude potrebné umiestniť koleno. Toto koleno sa pripevní na výtok číslo štyri a následne je naň napojený už spomínaný prechodový medzikus. Pri našom návrhu nebude použitá klapka na turbíne a to z toho dôvodu, že celková regulácia prítoku je už zabezpečená na strane nádrží a použitie klapky, i keď to je jednoduchý mechanizmus, by zbytočne komplikovalo konštrukciu. Turbína už s potrebnými medzikusmi je zobrazená na obrázku 4.13.

Nakoniec zostáva samotnú turbínu už len vhodne umiestniť, aby bola možná jej prevádzka. Keďže sú okraje derivačného kanála vybetónované, tak môžeme turbínu umiestniť na konštrukciu, ktorá bude pripevnená na betón. Pre správnu činnosť celej turbíny sú potrebné aj ložiská. V tomto prípade budú použité ložiská s domčekom,



Obr. 4.13: Zúženie prietoku medzikusom

ktorý je pripevnený na nosnú konštrukciu turbíny a následne je v nich umiestnený hriadeľ. Pre zamedzenie prístupu vody do ložísk sú domčeky opatrené guferom. Jeden domček môže byť z jednej strany uzavretý, avšak druhý musí mať obe strany otvorené, pretože je potrebné, aby hriadeľ za ním ešte pokračoval, kvôli spojeniu s generátorom. Konštrukcia s turbínou je zakreslená na nasledujúcom obrázku 4.14



Obr. 4.14: Znázornenie uchytenia turbíny

kde a) je pohľad z boku a b) je pohľad z vrchu

Nosná konštrukcia je pripevnená k betónovej stene za pomoci ôsmich skrutiek na každej strane. Kvôli zabezpečeniu požadovanej stability sú ešte pravá a ľavá strana medzi sebou pred turbínou spojené. Týmto sa zabezpečí jej požadovaná pevnosť. Ložiská daného tvaru sa dajú pripevniť buď dvomi skrutkami, ako je znázornené na vyššie uvedenom obrázku, alebo sa dajú zohnať domčeky, ktoré sa dajú pripevniť štyrmi skrutkami. Výber ložísk je prakticky obmedzený iba priemerom hriadeľa, ktorý je 20mm. Keďže v určitých ročných obdobiach môže hladina derivačného kanála stúpnuť a tým pádom by mohlo nastať zaplavenie spodnej časti konštrukcie, tak je vhodné konštrukciu opatriť vodeodolným náterom, aby sa zamedzilo degradovaniu materiálu.

Posledná časť turbíny je jej samotný kryt, ktorý slúži na prekrytie všetkých častí turbíny pred poveternostnými podmienkami. Môže byť jednoducho zhotovený z pozvarovaných plechov a pripevnený k nosnej konštrukcii, na ktorej je po každej strane na to vymedzený priestor.

4.3 Výber generátora

Pretože výkon z výtoku číslo 4 nie je veľmi veľký, padlo rozhodnutie na použitie jednosmerného generátora. V našom konkrétnom prípade bol navrhnutý jednosmerný motor s permanentnými magnetmi od firmy ATAS, ktorá sídli v Náchode. Podľa katalógu firmy ATAS [18] bol vybraný komutátorový elektromotor typ P2X, ktorý je možné vidieť na obrázku 4.15. Konkrétne model s nasledujúcimi parametrami:

Tab. 4.3: Parametre P2X

Parameter	Hodnota
Výkon	500 W
Napätie	24 V DC
Otáčky	2250 ot · min ⁻¹
Prevádzka	S1 a S2
Krytie	IP 20
Rozmery	ϕ 115x184

Prevádzka S1 znamená, že motor môže byť v prevádzke kontinuálne a S2 je prevádzka krátkodobá, pri ktorej musí byť motor odstavený, aby dosiahol okolitú teplotu po tom, ako dosiahol počas danej doby tepelnú hranicu. [19]

Keďže je krytie iba IP20, bude veľmi dôležité, aby bolo zabezpečené dostatočné vonkajšie krytie proti vniknutiu vody. Toto bude potrebné zabezpečiť výrobou dostatočne vode odolného krytu.



Obr. 4.15: DC P2X [20]

4.3.1 Návrh prevodovky

Z tabuliek 4.3 a 4.2 môžeme vidieť, že otáčky nami vybraného generátora a turbíny nie sú rovnaké. Z tohoto dôvodu treba použiť prevodovku. Kvôli vyššej účinnosti padlo rozhodnutie na použitie ozubeného prevodu.

Tab. 4.4: Vybrané hodnoty turbíny a generátora

Parameter	Turbína	Generátor
Priemer hriadeľa	20 mm	15 mm
Otáčky	606 $ot \cdot min^{-1}$	2250 $ot \cdot min^{-1}$
Výkon	564 W	500 W

Ako prvé si pre výpočet prevodovky určíme, podľa 4.31, prevod i :

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{2250}{606} = 3.71 \quad (4.31)$$

Pre výpočet počtu zubov predpokladáme, že počet zubov menšej remenice je i -krát menší ako počet väčšej remenice na turbíne. Z tohoto dôvodu bolo nutné nájsť adekvátny možný pomer počtu zubov, aby sme sa čo najbližšie priblížili k nami požadovanému prevodu. Podľa katalógov firmy Walther Flender [21] sme vybrali nasledovne :

Tab. 4.5: Vybrané remenice

	Turbína	Generátor
Typ remenice	80 – 8M – 20	22 – 8M – 20
Materiál	Zliatina	Oceľ

Prvé číslo označuje počet zubov, druhé číslo je rozteč zubov a tretie číslo je šírka remeňa.

Pri výbere remenice je nutné kontrolovať, či maximálne dovolené vrtanie remenice je väčšie ako jej samotný priemer. Pre ďalší výpočet je potrebné kompletné určenie parametrov remeníc. Tie sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tab. 4.6: Parametre remeníc

	Turbína	Generátor
Typ remenice	80 – 8M – 20	22 – 8M – 20
Počet zubov	80	22
Hmotnosť	3,8 kg	0,54 kg
Vonkajší priemer	202,35 mm	54,65 mm
Účinný priemer d_x	205,73 mm	58,03 mm

Nasledujúce výpočty vychádzajú z [22].

Obvodovú rýchlosť vypočítame nasledovne :

$$v_{max} = \frac{n_2}{60} \cdot \pi \cdot d_2 = \frac{2204}{60} \cdot \pi \cdot 0,05803 = 6,697 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \quad (4.32)$$

Kde hodnotu n_2 sme dostali z už reálneho pomeru počtu zubov nasledovne :

$$n_2 = n_1 \cdot \frac{80}{22} = 606 \cdot \frac{80}{22} = 2204 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1} \quad (4.33)$$

Pre dĺžku remeňa určíme minimálnu osovú rozteč $A=142$ mm. Táto hodnota je dosiahnutá ako súčet polomerov malej a veľkej remenice, k čomu je pripočítaných 10 mm.

Pre dĺžku remeňa platí vzorec :

$$l = 2 \cdot \sqrt{A^2 + \left(\frac{d_1 - d_2}{2}\right)^2} + \frac{\pi \cdot d_1 + \pi \cdot d_2}{2} \quad (4.34)$$

Následne dosadíme:

$$l = 2 \cdot \sqrt{0,142^2 + \left(\frac{0,20573 - 0,05803}{2}\right)^2} + \frac{\pi \cdot 0,20573 + \pi \cdot 0,05803}{2} = 720 \text{ mm} \quad (4.35)$$

Po vypočítaní dĺžky remeňa si ešte treba určiť výpočtový výkon. Ako prvé je potrebné vypočítať počet zubov v zábere na menšej remenici:

$$z_e = \frac{z_k}{6} \cdot \left(3 - \frac{d_1 - d_2}{A}\right) = \frac{22}{6} \cdot \left(3 - \frac{205.73 - 58.03}{142}\right) = 7.19 \quad (4.36)$$

Tomuto zodpovedá, podľa strany 26 v katalógu [22], koeficient $S_2 = 1,25$.

Podľa strany 25 v katalógu[22] koeficient $S_1 = 1,8$. Tomuto zodpovedá prevádzka 24 hod. u generátorov, výtahov a podobne.

Faktor S_3 volíme 0,4, pretože sa jedná o prevod do rýchla a samotný prevod vyšiel viac ako 3,5. Výsledný faktor S_G získame nasledovne:

$$S_G = S_2 \cdot (S_1 + S_3) = 1,25 \cdot (1,8 + 0,4) = 2,75 \quad (4.37)$$

Teraz môžeme spočítať výpočtový výkon P_B :

$$P_B = S_G \cdot P = 2,75 \cdot 564 = 1551 \text{ W} \quad (4.38)$$

Navrhnutým remeňom je možné prenášať výkon 1551 W, do čoho sa náš návrh bez problémov vojde.

Výsledný návrh je vypísaný na nižšie uvedenej tabuľke 4.7:

Tab. 4.7: Výsledný návrh prevodovky

Remenica 1	$80 - 8M - 20$
Remenica 2	$22 - 8M - 20$
Remeň	<i>HTD</i> - 8M
Šírka remeňa	20 mm
Dĺžka remeňa	720 mm

4.4 Výpočet prierezu vodiča

Navrhovaný prierez vodiča budeme počítat z výstupných hodnôt generátora, a to $P=500 \text{ W}$, $U=24 \text{ V}$ a $\eta = 80 \%$. Generátor bude napájať zatiaľ bližšie nešpecifikovaný spotrebič. Kábel bude uložený v zemi a dĺžka kábla bude 20 m.

Ako prvé si vodič nadimenzujeme podľa prevádzkovej teploty :

- Dovoľené zaťaženie vodiča získame nasledovne:

$$I_z = \frac{P}{U \cdot \eta} = \frac{500}{24 \cdot 0.8} = 26,042 \text{ A} \quad (4.39)$$

Pri dimenzovaní musí platiť podmienka :

$$I_n \cdot k \geq I_z \quad (4.40)$$

Kde: k - prepočítavací koeficient, pre podmienky, ktoré su odlišné od referenčného spôsobu uloženia. I_n je menovité prúdové zaťaženie vodiča pre daný prierez a typ.

V našom prípade volíme uloženie typu D, pretože bude kábel ťahaný pod zemou. Predpokladáme referenčný spôsob uloženia, takže hodnota koeficientu k bude rovná jednej.

Podľa tabuľky 29, zo skrípt pre Rozvodné zařízení [24], sme vybrali hodnotu prúdu $I_n = 29 \text{ A}$. Tomuto zodpovedá medený kábel s hrúbkou 2.5 mm^2 . Čiže si zvolíme kábel *CYKY 2x2.5 mm²*. Avšak kvôli úbytku napätia bolo nutné kábel zväčšiť a to konkrétne na *CYKY 2x10 mm²*.

- Kontrola úbytku napätia:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = 0,01786 \cdot \frac{20}{10} = 0,0357 \Omega \quad (4.41)$$

$$\Delta U = R \cdot I_z = 0,0357 \cdot 26,042 = 0,9297 \text{ V} \quad (4.42)$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100}{U} = \frac{0,9297 \cdot 100}{24} = 3,8738 \% \quad (4.43)$$

Ako môžeme vidieť zo vzorca 4.43, vodič *CYKY2x10 mm²* nám vyhovuje, pretože úbytok napätia na ňom bude pod 5 %.

4.5 Energetický potenciál posledného výtoku

Počas merania výtokov, rýchlosti výtoku a spádu sme namerali hodnoty, ktoré sú uvedené v kapitole 4.1.1 a posledný výtok číslo 5 mal pomerne zanedbateľné využitie. Avšak táto situácia platila iba v čase nášho merania. Výtokový systém nádrží v rybníku je možné modifikovať do takého stavu, kedy sú určité výtoky kompletne uzatvorené a všetka voda, ktorá by sa vypúšťala von výtokmi 1 až 4 sa bude vpúšťať do rybníka, ktorý je na obrázku 4.2 označený číslom 10. Samozrejme, výtoky kvôli prevádzke nie je možné kompletne uzatvoriť, avšak touto modifikáciou je možné potenciálne využiť aj posledný výtok. Vieme, že do celého rybníka vteká $200 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ vody a majiteľ povedal, že na prevádzku samotného rybníka sa spotrebuje asi $110 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Z tohoto nám vyplýva, že v poslednom výtoku sme schopní dosiahnuť prietoky okolo $90 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Ak poznáme prietok a spád, tak si môžeme rovnakým spôsobom ako v predchádzajúcich kapitolách navrhnúť turbínu. Treba však brať do úvahy to, že daná hodnota prietoku je orientačná a výpočet bude slúžiť čisto na účely porovnania. Ak by bol záujem o využitie daného výtoku, bolo by nutné vykonať presné meranie prietokov, aby sme mohli určiť všetky požadované hodnoty. Po použití rovnakých výpočtov na získanie parametrov turbíny nám vyšli hodnoty uvedené v tabuľke 4.8

Tab. 4.8: Tabuľka rozmerov turbíny pre modifikovaný výtok 5

	Výtok 5
Súčiniteľ k_{ld}	2
Rýchlosť pritekajúcej vody c_1	$7,364 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Plocha prúdu a	$12,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Hrúbka vodného prúdu s	$34,96 \text{ mm}$
Vonk. priemer obežného kolesa D	$174,802 \text{ mm}$
Vnút. priemer obežného kolesa d_2	$115,369 \text{ mm}$
Šírka prúdu L_1	$349,604 \text{ mm}$
Šírka obežného kola L_2	$359,604 \text{ mm}$
Polomer rúrky na lopatky DN	$46,99 \text{ mm}$
Menovité otáčky n	$417 \text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$
Otáčky naprázdno n_0	$1750 \text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$
Priemer hriadeľa turbíny d_h	$32,275 \text{ mm}$

Pre výtok 5 bude potom hodnota výkonu nasledovná:

$$P_{v5} = 1000 \cdot 9,80665 \cdot 2,85 \cdot 90 \cdot 10^{-3} \cdot 0,75 = 1,89 \text{ kW} \quad (4.44)$$

V porovnaní s hodnotou, ktorá nám vyšla zo vzorca 4.30, je tento výkon približne trikrát väčší. Môžeme konštatovať, že aj pri nepresnosti pri hodnote prietoku, s ktorou sme počítali, je evidentné, že využitím posledného výtoku pri uškrtení ostatných výtokov by sme boli schopní dosiahnuť pomerne vysoký výkon. Problém by v tomto prípade nastal pri výbere generátora. Pretože je tento výtok vzdialený približne 180 metrov, úbytky napätia pri použití DC rozvodu by boli priveľké. Toto by sa dalo vyriešiť dvoma spôsobmi. V prípade, že by sme aj použili jednosmerný generátor, bolo by nutné vyrobené napätie v rámci prenosu rozstriedať na striedavé. Toto zo sebou prináša určité straty. Ako druhá možnosť sa javí použitie synchronného generátora s permanentnými magnetami. Pri tomto riešení by nám odpadli straty pri transformácii DC napätia na AC, pretože by sme dostali priamo AC napätie o určitej veľkosti.

5 KALKULÁCIE NÁVRATNOSTI

5.1 Náklady na zhotovenie turbíny

Keďže sa predpokladá, že turbína bude manuálne vyrábaná, tak je jej výsledná cena zložená z viacerých položiek, ktoré sú umiestnené v nasledujúcej tabuľke:

Tab. 5.1: Cenová kalkulácia materiálu

	Jednotková cena	Počet kusov	Výsledná cena
Nerezový plech	800 Kč	1	1 600 Kč
Rúrka na lopatky	600 Kč	2	1 200 Kč
Domčekové teleso s ložiskom	500 Kč	2	1 000 Kč
Kruhová tyč na hriadeľ	400 Kč	1	400 Kč
Nosná konštrukcia	3 600 Kč	1	3 600 Kč
Koleno	1 280 Kč	1	1 280 Kč
Prechodový medzikus a kryt	2 400 Kč	1	2 400 Kč
Spojovací materiál	1 300 Kč	1	1 300 Kč
Remenica 80 – 8M – 20	840 Kč	1	840 Kč
Remenica 22 – 8M – 20	400 Kč	1	400 Kč
Remeň <i>HTD</i> – 8M	280 Kč	1	280 Kč
Generátor P2X	3 200 Kč	1	3 200 Kč
Kryt na generátor	5 000 Kč	1	5 000 Kč
Elektromontážny materiál	3 000 Kč	1	3 000 Kč
Cena spolu			25 500 Kč

Ceny práce sú nasledovné:

Tab. 5.2: Cenová kalkulácia prác

Zvarovanie turbíny	2 000 Kč
Výkop káblovej ryhy, zemina tr.4	2 000 Kč
Zásyp ryhy a úprava terénu	800 Kč
Montáž turbíny na nosnú konštrukciu	1 300 Kč
Elektroinštalačné práce	1 800 Kč
Montáž krytov na turbínu a generátor	1 600 Kč
Cena spolu	9 500 Kč

Celkové náklady sú po spočítaní všetkých čiastkových cien 35 000 Kč.

5.2 Finančná návratnosť investície

Dobu návratnosti môžeme počítať určením ceny ušetrenej elektrickej energie, nakoľko tento mikrozdroj nebude pripojený na distribučnú sieť a vyrobená energia sa nebude predávať v porovnaní so skutočnosťou, ak by sa vlastná elektrická energia nevyrábala. Nákupná cena energie v okolí Šumperku je približne 4 264 Kč za 1 MWh [23].

Následne si musíme určiť výkon, ktorý získame za generátorom. To môžeme spočítať jednoducho, dosadením do vzorca 1.11:

$$P = 1000 \cdot 9,80665 \cdot 2,19 \cdot 35 \cdot 10^{-3} \cdot 0,75 \cdot 0,95 \cdot 0,80 = 428,5 \text{ W} \quad (5.1)$$

Kedže môžeme počítať s tým, že mikrozdroj bude s malými prestávkami určenými na údržbu v prevádzke počas celého roka, tak energia ktorú vyrobí je nasledovná:

$$W = P \cdot 360 \cdot 24 = 428 \cdot 360 \cdot 24 = 3.7 \text{ MWh} \quad (5.2)$$

Pre výpočet finančnej návratnosti použijeme nasledujúce hodnoty:

- Investičné náklady $K_i = 35\,000 \text{ Kč}$.
- Prevádzkové náklady $N_p = 4\,000 \text{ Kč}$. Medzi prevádzkové náklady je započítaná menšia pravidelná údržba a opravy mikrozdroja.
- Cena ušetrenej energie $T_r = 15\,777 \text{ Kč ročne}$.
- Predpokladaná inflácia 2%.
- Požadovaná výnosnosť investície $i = 5\%$.

Tab. 5.3: Prehľad ročných príjmov

R	$T_r[\text{Kč}]$	$N_p[\text{Kč}]$	$P[\text{Kč}]$	$P_A[\text{Kč}]$	$A_{Si}[\text{Kč}]$
1	15 777	4 000	11 777	11 216	-23 784
2	16 092	4 080	12 012	10 896	-12 888
3	16 414	4 162	12 253	10 548	-2 304
4	16 742	4 245	12 498	10 582	7 978
5	17 077	4 300	12 748	9 998	17 966
·	·	·	·	·	·
20	22 948	5 827	17 157	6 466	137 712

kde R označuje rok, T_r cenu ušetrenej elektrickej energie, P je príjem, P_A je aktuálny príjem a A_{Si} je aktuálny stav investície

Príklad výpočtu pre prvý riadok tabuľky 5.3 [25].

Cena ušetrenej energie sa získala nasledovne:

$$T_r = 4\,624 \cdot 3,7 = 15\,777 \text{ Kč} \quad (5.3)$$

a príjem:

$$P = T_r - N_p = 15\,777 - 4\,000 = 11\,777 \text{ Kč} \quad (5.4)$$

Pri využití požadovanej výnosnosti investície, $i = 5\%$, vypočítame aktuálny príjem nasledovne:

$$P_A = \frac{P}{(1+i)^R} = \frac{11\,777}{(1+0,05)^1} = 11\,216 \text{ Kč} \quad (5.5)$$

príčom aktuálny stav investície v prvom roku bude:

$$A_{si1} = P_{A1} - K_i = 11\,216 - 35\,000 = -23\,784 \text{ Kč} \quad (5.6)$$

a v druhom roku:

$$A_{si2} = P_{A2} + A_{si1} = 10\,896 + (-23\,784) = -12\,888 \text{ Kč} \quad (5.7)$$

Hodnota čistej súčasnej hodnoty nám vraví, koľko peňazí nám náš projekt za dobu 20 rokov prinesie. Na jej výpočet použijeme nasledujúci vzťah:

$$NPV = \sum_{R=1}^{20} \frac{P}{(1+i)^R} - K_i = 172\,712 - 35\,000 = 137\,712 \text{ Kč} \quad (5.8)$$

Z tabuľky 5.3 je zrejmé, že celá investícia sa vráti vo štvrtom roku, pretože aktuálny stav investície je v kladných číslach a z výsledku rovnice 5.8 vyplýva, že za dobu 20 rokov projekt zarobí 137 712 Kč.

6 ZÁVER

V bakalárskej práci je popísaná základná teória ohľadom vodných elektrární, pričom dôraz je kladený na vodné motory používané pri malých vodných elektrárnach s malým spádom a prietokom. Konkrétne sa jedná o vodné koleso a Bánkiho turbínu.

Cielom tejto práce bolo preskúmať rybárstvo Bělídlo v Šumperku, konkrétne výtoky z rybníkov a zistenie energetického potenciálu vody v nádržiach. Po vykonaní všetkých potrebných meraní sa zistilo, že pri jednom výtoku sú dostatočné hodnoty prietoku a spádu z čoho vyplývalo potenciálne využitie. Pre konkrétny výtok bola spočítaná Bánkiho turbína. Keďže firmene vyrábané turbíny majú veľkú cenu, padlo rozhodnutie na samostanú výrobu, čo výrazne znížilo náklady na turbínu a tým aj celkové investície. Kvôli nižším výkonom je volený DC prúd, pričom generátor je použitý od firmy ATAS, konkrétne sa jedná o model P2XT648. Pretože sú otáčky zvoleného generátora vyššie ako otáčky na turbíne bolo nutné použiť prevod. Konkrétne je použitý reťazový prevod firmy Walther Flender, kde väčšia remenica je 80-8M-20 a menšia 22-8M-20 a remeň HTD-8M. Reťazový remeň bol použitý s dôvodu pomerne vysokej účinnosti. Pre generátor je navrhnutý vývod káblom $CYKY2 \times 10 \text{ mm}^2$. Ako možná varianta je uzavretie predných výtokov a prepúšťanie vody posledným, zadným výtokom. Týmto by bolo možné dosiahnutie vyšších prietokov a tým pádom aj výkonu, pričom by bolo nutné, z dôvodu prenosu elektrickej energie, použiť AC prúd, nakoľko pri DC prúde by sme mali pri vzdialenosti približne 150 m vysoké úbytky napätia.

Z hľadiska financií sú predpokladané investičné náklady 35 000 Kč. Nižšie náklady boli dosiahnuté vďaka súkromnej výrobe turbíny, nosných konštrukcií a krytov. Pri cene 4264 Kč za 1 MWh uštríme ročne na energii 15 776,8 Kč a vďaka nízkym prevádzkovým nákladom sa nám investícia vráti do štyroch rokov, pričom za dobu predpokladanej životnosti 20 rokov nám projekt zarobí 137 712 Kč.

Vzhľadom k tomu, že spotreba energie každoročne rastie a investícia do projektu je rýchlo navrátená, tak tento projekt hodnotíme ako výnosný a do budúcnosti ho odporúčame realizovať. Veľmi dobrá varianta využitia získanej energie sa javí použitie 24 V DC čerpadla, napríklad samonasávacieho čerpadla Rower Pompe Marina 25 Novax-24 V 0.42 kW.

LITERATÚRA

- [1] MATOUŠEK, Antonín. *Elektrárny 1* /. 1. vyd. Brno: VUT FEKT, 2002, 150 s. ISBN 80-214-2269-6
- [2] Javys [online]. 2013 [cit. 2013-4-11].
Dostupné z WWW : <http://www.javys.sk/sk/informacny-servis/energeticky-slovník/V/vazska-kaskada%23r>
- [3] Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. 2013 [cit. 2013-3-11].
Dostupné z WWW : <http://www.mpo.cz/dokument143188.html>
- [4] Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. 2013 [cit. 2013-4-11].
Dostupné z WWW : <http://www.mpo.cz/dokument143193.html>
- [5] DUŠIČKA, P.; GABRIEL, P.; HODÁK, T. ; ČIHÁK, F.; ŠULEK, P. *Malé vodní elektrárny*. 1. vyd. Bratislava: Jaga, 2003, 175 s. ISBN 80-889-0545-1.
- [6] Jzed-el-Vodni [online]. 2013 [cit. 2013-4-11].
Dostupné z WWW : http://ok1zed.sweb.cz/s/el_vodniel.htm
- [7] LAIKA, Viktor. *Abeceda vodních pohonů* [online]. [cit. 2013-4-11].
Dostupné z WWW : <http://mve.energetika.cz/>
- [8] KMINIAK, Pavel. *Vodné mikroelektrárne*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1990, 341 s. ISBN 80-050-0771-X.
- [9] GABRIEL, Pavel; ČIHÁK, František; KALANDRA, Petr. *Malé vodní elektrárny* Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1998, 321 s. ISBN 80-010-1812-1.
- [10] Ministerstvo životného prostredia [online]. 2013 [cit. 2013-4-11]
Dostupné z WWW: <http://www.minzp.sk/oblasti/obnovitelne-zdroje-energie/obnovitelne-zdroje-energie/vodna-energia/>
- [11] Ministerstvo životního prostředí [online]. 2013 [cit. 2013-4-11]
Dostupné z WWW : http://www.mzp.cz/cz/male_vodni_elektrarny
- [12] BEDNÁR, J. *Malé vodní elektrárny 2* : Turbíny, vyd. Praha : SNTL, 1989. 240s.
- [13] PAŽOUT, František. *Malé vodní elektrárny a mikro zdroje*. [Praha: Státní nakladatelství technické literatury], 1982, 82s.
- [14] Obnovitelné zdroje energie [online]. 2013 [cit. 2013-6-11]
Dostupné z WWW : <http://www.oze.stuba.sk/oze/vodna-energia/>

- [15] Kvađrotech a.s. *Archimédův šroub v aplikaci jako turbína* [online]. 2013 [cit. 2013-23-11]
Dostupné z WWW : <http://www.kvadrotech.com/uvod-1/hydroenergetika/archimedes-screws-turbine-and-pumps>
- [16] Greenhouse Canda Energy Edge [online]. 2013 [cit. 2013-1-12]
Dostupné z WWW : <http://www.greenhousecanada.com/energy-edge/images/stories/archimedes%20screw.jpg>
- [17] TKOTZ, Klaus. *Příručka pro elektrotechnika*. Vyd. 1. Praha: Europa-Sobotáles, 2002, 561 s. ISBN 80-86706-00-1.
- [18] ATAS elektromotory Náchod a.s..*Katalóg P2X* [online]. 2013 [cit. 2014-8-5]
Dostupné z WWW : http://www.atas.cz/files/P2X_cz.pdf
- [19] PohonnáTechnika. [online]. 2014. [cit. 2014-05-17].
Dostupné z WWW: <http://www.pohonnatechnika.cz/frekvencni-menice/druhy-provozu>
- [20] ATAS elektromotory Náchod a.s.. [online]. 2013 [cit. 2014-8-5]
Dostupné z WWW : <http://www.atas.cz/img/motors/large/P2X.jpg>
- [21] Walther flender [online]. 2013 [cit. 2014-8-5]
Dostupné z WWW :<http://www.walther-flender.cz/katalogy.html>
- [22] Direct Industry Catalogues [online]. 2013 [cit. 2014-8-5]
Dostupné z WWW :<http://pdf.directindustry.com/pdf/walther-flender/polychain-timingbelts/16018-199901.html>
- [23] Skupina ČEZ [online]. 2014 [cit. 2014-8-5]
Dostupné z WWW: <http://www.cez.cz/cs/elektrina/comfort/cenik.html>
- [24] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodné zařízení*. Brno: VUT FEKT, 2012. 144 s.
- [25] CHMELA, Michal. *Ekonomika a řízení*. Brno: VUT FEKT, 2007, 115 s.